

UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE - UNESC

CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

ALINE FURLAN

**EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE
INFLUÊNCIA DOS PÁTIOS DE ESTOCAGEM DE CARVÃO DE USINA
TERMELÉTRICA, CAPIVARI DE BAIXO - SC**

CRICIÚMA

2015

ALINE FURLAN

**EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE
INFLUÊNCIA DOS PÁTIOS DE ESTOCAGEM DE CARVÃO DE USINA
TERMELÉTRICA, CAPIVARI DE BAIXO - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado
para obtenção do grau de Engenheira
Ambiental no curso de Engenharia Ambiental
da Universidade do Extremo Sul Catarinense,
UNESC.

Orientadora: Prof.^a MSc. Nadja Zim Alexandre

CRICIÚMA

2015

ALINE FURLAN

**EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA ÁREA DE
INFLUÊNCIA DOS PÁTIOS DE ESTOCAGEM DE CARVÃO DE USINA
TERMELÉTRICA, CAPIVARI DE BAIXO - SC**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado pela Banca Examinadora para obtenção do Grau de Engenharia Ambiental, no Curso de Engenharia Ambiental da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC, com Linha de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Criciúma, 24 de Junho de 2015.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Nadja Zim Alexandre - Mestre – (UNESC) - Orientadora

Prof. Sérgio Bruchchen - Mestre – (UNESC)

Prof. Gustavo Simão - Mestre – (UNESC)

**Aos meus pais, Pedro e Lourdes, e a minha
irmã Bruna, só nós sabemos o que
passamos para eu chegar até aqui, a vocês
todo o meu amor e gratidão.**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por guiar meu caminho com proteção e me dar forças para chegar até aqui.

Aos meus pais Pedro e Lourdes, e minha irmã Bruna, por serem os meus melhores amigos, nunca deixando faltar amor.

A toda a minha família especialmente a minha Tia Luiza, e meu Tio Edgar que me receberam em sua casa durante estes anos da faculdade, e junto com meus primos, Jhones, Diego e Carolina, fizeram aliviar a saudade de casa.

As minhas amigas Aline, e Elise que mesmo longe sempre se fizeram presentes.

Aos meus colegas de Curso e da Empresa Junior ECO Jr. Engenharia a Consultoria Ambiental, com quem dividi bons momentos dentro fora do Campus.

Aos professores do Curso de Engenharia Ambiental que me presentearam com seus conhecimentos, em especial a professora Nadja, pela orientação e paciência no auxílio a elaboração deste trabalho.

Aos professores Sérgio Bruchchen e Gustavo Simão, por aceitarem participar da banca examinadora e prestarem suas contribuições.

A Tractebel Energia por permitir que esse trabalho fosse realizado, e em especial Marcelo Caneschi e Liliana Dutra, que em nome destes, eu estendo os meus agradecimentos a toda a equipe da CEUT, que estiveram sempre dispostos a me ajudar.

“Se você pode sonhar, você pode fazer.”

Walt Disney

RESUMO

Sendo a água um dos recursos naturais essenciais à vida humana e ao equilíbrio dos ecossistemas, é essencial cuidar das suas reservas e mananciais, assegurando a sobrevivência da atual e futuras gerações. A qualidade da água da região do município de Capivari de Baixo – SC sofreu durante muitos anos com depósitos gerados pelo beneficiamento de carvão, que na época era feito na região. Este carvão depositado diretamente sobre o solo gerou uma série de graves impactos ambientais no solo e as águas. Atualmente no local, está implantado o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, que realizou diversas obras a favor do meio ambiente, entre elas, a recuperação de áreas contaminadas, e redução e impermeabilização dos pátios de estocagem de carvão. O estudo propôs avaliar a evolução da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos no principal pátio de estocagem de carvão do CTJL, e sua relação com as obras de impermeabilização realizadas nos últimos anos. O período amostral considerou campanhas quinzenais de 2010 a 2014, analisando parâmetros físicos e químicos de pH, condutividade, acidez, sulfatos, ferro e manganês. A análise estatística dos dados laboratoriais do programa de monitoramento da empresa, permitiu concluir que apesar dos resultados de qualidade da água dos poços apontarem que os mesmos não se apresentam com boa qualidade, a situação do APL 02, localizado a jusante dos pátios de estocagem de carvão, considerando as linhas de fluxo é significativamente melhor (95% de certeza) que o APL 01 (poço de montante) e do APL 03, exceto pelos parâmetros de pH, condutividade e sulfatos. Além disso, pode se dizer que a qualidade da água nos três poços de monitoramento apresenta melhora nas características, quando se comparam os dados de 2014 com o conjunto de dados dos anos anteriores, com exceção do parâmetro de manganês, que para o ALP 02 e o ALP 03, no ano de 2013 apresentou valores mais baixos que os de 2014; e ainda, que esta melhora foi mais significativa para o ALP 01 do que para o ALP 02, e ALP 03.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental. Água subterrânea. Qualidade da água. Drenagem ácida. Impermeabilização.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo Hidrológico	14
Figura 2 - Exemplo de perfil construtivo segundo a norma NBR 13.865	24
Figura 3 - Áreas em fase de recuperação próximas ao CTJL.	31
Figura 4 - Área do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda.....	32
Figura 5 - Mapa Geológico da área de estudo.	33
Figura 6 - Processo de impermeabilização dos Pátios de Carvão.	37
Figura 7 - Esquema de impermeabilização dos pátios.....	38
Figura 8 - Localização dos poços na área de estudo.	40
Figura 9 - Poços de monitoramento. A) ALP01; B) ALP02; C) ALP03	41
Figura 10 - Tratamento estatístico dos dados da qualidade da água subterrânea do poço ALP01, onde: a) pH; b) Condutividade; c) Acidez; d) Sulfatos; e) Ferro total; f) Manganês total.....	47
Figura 11 - Detalhe da linha férrea próxima ao poço ALP01.....	48
Figura 12 - Tratamento estatístico dos dados da qualidade da água subterrânea do poço ALP02, onde: a) pH; b) Condutividade; c) Acidez; d) Sulfatos; e) Ferro total; f) Manganês total;.....	52
Figura 13 - Tratamento estatístico dos dados da qualidade da água subterrânea do poço ALP03, onde: a) pH; b) Condutividade; c) Acidez; d) Sulfatos; e) Ferro total; f) Manganês total;.....	56
Figura 14 - Tratamento estatístico dos dados da qualidade da água subterrânea para os poços ALP01, ALP02 e ALP03 no ano de 2014, onde: a) pH; b) Condutividade; c) Acidez; d) Sulfatos; e) Ferro total; f) Manganês total;	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valores limites fixados pela Resolução CONAMA n. 396/2008 considerando as possibilidades de uso para a água subterrânea.....	18
Tabela 2 - Concentração de metais em amostras de águas segundo os métodos de amostragem.	27
Tabela 3 - Localização dos poços de monitoramento de lençol freático no pátio de carvão.	39
Tabela 4 - Quantidade de campanhas amostrais por ano.....	42
Tabela 5 - Dados de precipitação na área de estudo.....	43
Tabela 6 - Resultado da análise estatística para o ALP01.....	44
Tabela 7 - Resultado da análise estatística para o ALP02.....	49
Tabela 8 - Resultado da análise estatística para o ALP03.....	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACP	Ação Civil Pública
ALP	Água do Lençol do Pátio de Carvão
ANA	Agência Nacional de Águas
CAEEB	Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras
CE	Condutividade elétrica
CELESC	Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A.
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CTJL	Complexo Termelétrico Jorge Lacerda
Fe	Ferro
GTA	Grupo Técnico de Assessoramento
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
OD	Oxigênio dissolvido
PCB	Policlorobifenilos
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
pH	Potencial Hidrogeniônico
POR	Potencial de oxirredução
PVC	Policloreto de polivinila - <i>Polyvinyl chloride</i>
UTLA	Usina Termelétrica Jorge Lacerda A
UTLB	Usina Termelétrica Jorge Lacerda B
UTLC	Usina Termelétrica Jorge Lacerda C

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA	14
2.1.1 Geologia das Águas Subterrâneas e Tipos de Aquíferos.....	16
2.2 A IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS	19
2.3 RELAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COM USOS ANTRÓPICOS	20
2.3.1 Técnicas de prevenção ou de controle de drenagem ácida	22
2.4 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO E AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA	23
2.4.1 Aspectos construtivos.....	23
2.4.2 Atividades de Campo	24
3 METODOLOGIA	29
3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.1.1 Geologia regional	32
3.1.2 Hidrogeologia local.....	35
3.1.3 Impermeabilização dos Pátios.....	36
3.2 Análise de dados.....	38
4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	44
4.1 Resultados para o poço ALP01	44
4.2 Resultados para o poço ALP02.....	49
4.3 Resultados para o poço ALP03.....	53
5 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS.....	61

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos naturais essenciais à vida humana e ao equilíbrio dos ecossistemas. Com o aumento populacional e os atuais episódios de seca, a disponibilidade e qualidade da água se tornaram assuntos de pauta mais comum nas reuniões dentre líderes e governantes do país.

Por isso é fundamental cuidar das reservas e mananciais, assegurando a sobrevivência da atual e futuras gerações.

Quando o assunto é água, é muito comum pensar somente nos reservatórios superficiais como as lagoas, lagos, rios entre outros. Contudo é imprescindível lembrar que, sob os nossos pés, existe também uma reserva importante de recursos hídricos, a que se chama de águas subterrâneas.

Em contraste com a poluição das águas superficiais, a das águas subterrâneas é de difícil detecção, e uma vez constatada a poluição, é ainda mais difícil o seu controle já que os custos de remediação de aquíferos são elevados. Neste sentido, a Agência Nacional de Águas ressalta que tecnicamente é muito difícil a recuperação de mananciais subterrâneos para as condições originais, sendo que o dano ao meio ambiente pode persistir por anos, décadas, ou até mesmo séculos (ANA, 2007).

Pensando nisso o Complexo Termelétrico Jorge Lacerda localizado em Capivari de Baixo – SC que utiliza em seu processo de geração de energia a queima do carvão mineral, recentemente terminou obras de impermeabilização nos pátios de estocagem de carvão. O pátio de estoque de carvão mineral em um Complexo Termelétrico constitui-se em um dos principais aspectos ambientais a ser considerado, devido a geração de drenagem ácida.

A Tractebel realiza programas de monitoramento de emissões relativas ao processo termelétrico da queima do carvão, dentro desses, o programa de monitoramento da qualidade das águas das Bacias do Rio Tubarão e Rio Capivari que vem sendo realizado desde 1986.

Com a alusão de que a empresa possui um amplo banco de dados verificou-se a necessidade de compilar os dados referentes ao monitoramento das águas subterrâneas. Neste sentido, justifica-se a realização do presente estudo que tem como objetivo avaliar a evolução da qualidade das águas subterrâneas na área de influência dos pátios de estocagem de carvão da empresa Tractebel Energia,

Capivari de Baixo – SC.

Para alcançar esta meta, foram definidos os seguintes objetivos específicos: a) Levantar os dados históricos de qualidade da água dos poços de monitoramento; b) Acompanhar a amostragem dos poços de monitoramento; c) Acompanhar as análises físico-químicas na água amostrada; d) Interpretar os dados por meio da análise estatística; e) Discutir a tendência evolutiva da qualidade da água.

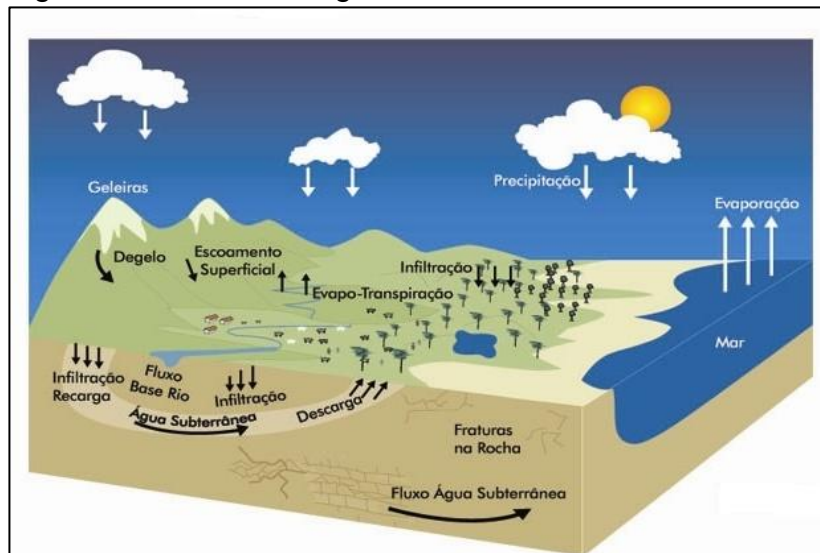
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 DISPONIBILIDADE DE ÁGUA

Todos os organismos precisam de água para sobreviver, e é essencial que os recursos hídricos tenham condições físicas e químicas adequadas para a sua utilização. A água encontra-se disponível sob várias formas, cobrindo cerca de 70% da superfície do planeta, é encontrada principalmente no estado líquido, sendo recurso natural renovável por meio do ciclo hidrológico, que é quando ocorre a precipitação das águas das nuvens, a infiltração no solo ou o escoamento para as correntes de águas superficiais, seguidos de evaporação e transpiração da água de volta para a atmosfera (BRAGA et all., 2002).

As águas superficiais são lagos, rios, oceanos e outros. Por meio do processo de percolação, essas águas superficiais, principalmente durante as chuvas, são absorvidas pelo solo e se tornam águas subterrâneas, ambas podendo ser usadas como fontes de abastecimento público (VESILIND; MORGAN, 2011). A Figura 1 ilustra o ciclo hidrológico.

Figura 1 - Ciclo Hidrológico



Fonte: MMA, 2015.

A resolução do CONAMA nº 396/2008 que “dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas [...]”, define água subterrânea como: “as águas que ocorrem naturalmente ou artificialmente no

subsolo”. A maior quantidade da água doce disponível na Terra localiza-se no subsolo, sendo que a metade dessa água esta em profundidades que excedem a um quilômetro (BAIRD, 2002).

Abaixo do nível do terreno, a água contida no solo e nas formações geológicas é dividida verticalmente em duas zonas horizontais, zona saturada e zona não saturada (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). A zona não saturada encontra-se entre a superfície freática e a superfície do solo, nela os poros estão parcialmente preenchidos por ar, vapor d'água e água; já a zona saturada, que situa-se abaixo da superfície freática, é caracterizada por ter todos os vazios existentes no solo preenchidos com água (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Entre os principais fatores determinantes da ocorrência de água subterrânea em uma área estão: a geologia, a quantidade e o regime de ocorrência das precipitações (GONÇALVES, 2012).

Os fatores geológicos regulam as condições de ocorrência, as características hidrodinâmicas das rochas aquíferas da área, bem como a forma como as rochas acumulam, e conduzem a água subterrânea. Assim como influência diretamente à sua qualidade que por sua vez determinam as características dos tipos de obras, os meios de construção, e os materiais a serem empregados para o revestimento dos poços de monitoramento, como filtros, e os tipos de captações (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

A intensidade das precipitações juntamente com as condições de infiltrabilidade do solo determinam as taxas e os processos de recarga de um aquífero (TUCCI, 1997). A infiltração depende das condições de permeabilidade do solo, relevo, cobertura vegetal, pelas formas de uso e ocupação do território em questão, bem como pelas condições de ocorrência dos corpos aquíferos, entre outros fatores (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

Regiões mais planas, bem arborizadas, e os aquíferos livres possuem taxas de recarga maiores que nas regiões de relevo acidentado, sem cobertura vegetal e também nos sistemas de aquíferos confinados (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

O cenário ideal para resultar em uma taxa de recarga ideal segundo Tucci (1997) é quando a intensidade das chuvas é muito inferior à permeabilidade do solo da área em questão. Já quando a intensidade da precipitação é superior à permeabilidade do terreno, ocorre maior escoamento superficial, tendo pouca

recarga, o qual provoca cenários de enchentes nos rios e induz intensivos processos de erosão no solo.

2.1.1 Geologia das Águas Subterrâneas e Tipos de Aquíferos

Denomina-se aquífero a formação geológica que contém água e em condições naturais permite que quantidades significativas dessa água se mobilizem no seu interior (TUCCI 1997).

Feitosa e Manoel Filho (2000) explicam que os aquíferos podem ser classificados de acordo com a pressão das águas nas suas superfícies limítrofes. O autor traz essa classificação como sendo:

- Aquífero confinado é o aquífero que se encontra a uma pressão maior do que a pressão atmosférica. Subdividido em dois tipos: confinado não drenante e confinado drenante.

- Aquífero livre que também é chamado de freático aquele, cujo limite superior é uma superfície freática onde os pontos se encontram à pressão atmosférica. As recargas dos aquíferos confinados são feitas através dos aquíferos livres e o processo acontece quando os excessos de água da chuva penetram por infiltração.

O conhecimento da geologia de uma região é essencial para o conhecimento da distribuição espacial dos aquíferos e as formas com que a água ocorre no subsolo, segundo o Caderno de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA), ela acontece de três maneiras:

Nas rochas fraturadas, a água está presente nas discontinuidades da rocha como falhas e fraturas. Correspondem as rochas ígneas e metamórficas. Nos terrenos fraturados-cársticos, além das discontinuidades da rocha, ocorre também a dissolução ao longo dos planos de fraturas, devido à presença de minerais solúveis nas rochas calcárias. Por final nas rochas sedimentares, a água é armazenada no espaço entre os grãos da rocha. (ANA, 2007, p.71)

Segundo Giampá e Gonçalves (2006), as características naturais das águas juntamente com o tipo de solo e rocha onde a mesma está armazenada, podem ser modificadas em função do tipo de ocupação do meio físico, podendo até levar a contaminação do recurso hídrico.

Em decorrência da crescente necessidade de uso e proteção do solo e das águas subterrâneas torna-se cada vez mais necessário o conhecimento do perfil hidrogeológico composto do subsolo da área em consideração. Tais informações são essenciais à definição de ações que visam à preservação ambiental de uma região (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006). Giampá e Gonçalves, (2006) explicam que presença de alguns íons pode estar associada a causas naturais (interação rocha água), como no caso do cloreto, sulfato, sódio, ferro e manganês. Já as altas concentrações de elementos metálicos presentes como constituintes maiores (Ca, Mg e Na) e os não metais na forma de íons contendo C e S ou outras espécies, como cloretos e fluoretos, são responsáveis pela salinidade das águas subterrâneas e comprometem o uso da água para consumo humano e industrial.

Alguns exemplos de ambientes estão exemplificados no quadro 1.

Quadro 1 - Do perfil geológico ao hidrogeológico composto

Perfil geológico	Perfil hídrico	Perfil bio-geoquímico
Solo argiloso - arenoso, rico em matéria orgânica	Água do solo penetrando pelas raízes das plantas (fluxo vertical importante, gravidade). Sistema trifásico – fase sólida (mineral + matéria orgânica), fase líquida (soluções mineral + húmica retidas pelo potencial matricial), fase gasosa (vapor d'água).	Ambiente rico em CO e O ₂ , grande interação com o ambiente externo, acentuados processos biogeoquímicos, filtração, troca iônica, adsorção e volatilização (CCl ₄ , C ₂ Cl ₄).
Sedimento arenoso e/ou rocha fraturada	Zona não-saturada ou vadosa (fluxo vertical dominante > gravidade) sistema trifásico – fase sólida mineral (mineral), fase líquida (água retirada pelo potencial matricial), fase gasosa (vapor de água). Nível de água – NA.	Ambiente progressivamente mais pobre em CO e O ₂ , trocas iônicas, precipitação, filtração, adsorção, complexação, processos geoquímicos.
Sedimento arenoso e/ou rocha fraturada	Zona Saturada – Tem fluxo horizontal dominante > gradiente hidráulico. Sistema bifásico – fase sólida (mineral), fase líquida (água), aquífero livre.	Ambiente oxidante redutor, alta diluição, lentas interações água/rocha.

Sedimento argiloso, cores cinza vermelha escura, e/ou rocha compacta	Substrato hidrogeológico do aquífero livre e camada confinante do aquífero inferior. Fluxo horizontal praticamente nulo (processo de drenança vertical). Sistema bifásico – fase sólida (mineral + orgânica), fase líquida (água).	Ambiente redutor dominante, interações geoquímicas das argilas.
Sedimento arenoso, fino/médio/grosseiro	Aquífero confinado. Meio saturado com água sob pressão – (fluxo horizontal > gradiente hidráulico). Sistema bifásico – fase sólida (mineral), fase líquida (água).	Ambiente redutor dominante (N ₂ , H ₂ S, CH ₄ etc.).
Embasamento pré-cambriano	Substrato hidrogeológico impermeável. Fluxo praticamente nulo. Sistema bifásico.	Ambiente redutor dominante.

Fonte: Rebouças, 1996, apud Rebouças; Braga; Tundisi, 2006.

Sabendo que as águas subterrâneas possuem características naturais devido à interação rocha-água, a resolução CONAMA 396/2008, traz a classificação destas de acordo com as suas características hidrogeoquímicas naturais e também considerando os níveis de poluição (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores limites fixados pela Resolução CONAMA n. 396/2008 considerando as possibilidades de uso para a água subterrânea.

Descrição	Valores de Referência			
	Consumo Humano	Dessedentação de animais	Irrigação	Recreação
pH (1)	6,0 - 9,5	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0	6,0 - 9,0
Condutividade Elétrica (mS.cm ⁻¹)	-	-	-	-
Acidez (mg.L ⁻¹)	-	-	-	-
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	250	1000	-	400
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	0,3	-	5	0,3
Manganês Total (mg.L ⁻¹)	0,1	0,05	0,2	0,1

(1) Para pH foi considerado o limite da Portaria n. 2914/2011 do Ministério da Saúde para consumo humano. Para os demais usos foi considerado os limites estabelecidos pela resolução Conama 357/05.

Nesta norma também estão disponibilizados os valores máximos permitidos (VMP) para cada parâmetro considerando os tipos de uso da água subterrânea com ou sem tratamento

2.2 A IMPORTÂNCIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O Brasil apresenta uma séria deficiência no conhecimento do potencial hídrico dos seus aquíferos, do seu poder de exploração e da qualidade de suas águas, pois os estudos regionais são poucos e encontram-se defasados (ANA, 2007). A maior parte dos estudos de qualidade de água subterrânea publicados recentemente tratam da caracterização de áreas contaminadas (ANA, 2007).

Mesmo com poucos estudos sobre a qualidade dos recursos hídricos subterrâneos, Giampá e Gonçalves (2006) descreve que os mesmos já se tornaram um fator de desenvolvimento importante dentro do mundo empresarial, dos países desenvolvidos e que o “[...] grande potencial de água doce – superficial e subterrânea – deve ser caracterizado como um capital ecológico de inestimável importância e fator competitivo fundamental do desenvolvimento socioeconômico sustentável.” (GIAMPÁ; GONÇALVES, 2006, p.20). O avanço da exploração e uso das águas subterrâneas aumentou com a crescente demanda de energia elétrica e a poluição das fontes hídricas de superfície (LEAL, 1999, apud ANA, 2007).

As principais vantagens de ordem econômica do uso do manancial para abastecimento de água para consumo doméstico e industrial, decorre do fato dela ser naturalmente filtrada e depurada pelos mecanismos físico-bio-geoquímicos que ocorrem no solo e subsolo não saturado (GIAMPÁ; GONÇALVES, 2006); e que possuem respectivamente um baixo custo de exploração.

Rebouças (2006) apud Gonçalves (2012) expõem outros fatores que explanam a crescente importância das águas subterrâneas como fonte de abastecimento.

- Notável capacidade de armazenamento, qualidade e quantidade não são afetadas pela variabilidade sazonal;
- Potabilidade natural e a maior proteção de qualidade dispensam os investimentos com estações de tratamento;

- A forma extensiva de ocorrência das águas subterrâneas resulta na possibilidade de captação no local onde ocorrem as demandas, dispensando estações de recalque e adutoras;
- Execução de obras de captação mais rápida em comparação com captação de lagos e rios;
- Investimentos relativamente pequenos;
- Não sofrem processos de assoreamento e nem perdem grandes volumes de água por evaporação.

Deste modo as águas subterrâneas vem sendo aproveitada em grande escala para o fornecimento de água potável em muitas cidades, e em áreas rurais (GONÇALVES, 2012).

2.3 RELAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS COM USOS ANTRÓPICOS

A questão da qualidade das águas subterrâneas vem se tornando cada vez mais importante para o gerenciamento de recursos hídricos no Brasil. As condições climáticas e geológicas do País deixaram se formar alguns sistemas aquíferos com potencial para suprir água, em quantidade e qualidade, indispensáveis as mais diferentes atividades (ANA, 2007).

Durante muito tempo a água foi considerada um recurso infinito. Porém hoje o mau uso, aliado à crescente demanda, vem preocupando especialistas e autoridades no assunto, e está cada vez mais evidente o decaimento das reservas de água limpa em todo o planeta (TELLES; COSTA, 2007).

Como pode-se observar no quadro 2 que a principal causa da degradação da qualidade das águas é o resultado vindo das atividades humanas que deixam um passivo de contaminação no ambiente.

Quadro 2 - Fontes de poluição das águas

Tipo de Poluição		Fontes
Poluição natural	Poluição não associada à atividade humana	- Chuvas e escoamento superficial - Salinização - Decomposição de vegetais e animais mortos
Poluição industrial	Constitui-se de resíduos líquidos dos processamentos industriais, em geral.	- Fábricas de papel e celulose - Usinas de açúcar e destilarias de álcool - Refinarias de petróleo

		Indústrias siderúrgicas e metalúrgicas - Indústrias têxteis - Frigoríficos abatedouros - Curtumes - Laticínios - outras
Poluição Urbana	Resíduos líquidos e sólidos	- Esgotos domésticos líquidos ou sólidos lançados direta ou indiretamente nos cursos d'água
Poluição agro-pastoril	Poluição decorrente das atividades ligadas à agricultura e pecuária	- Praguicidas - Fertilizantes - Excrementos de animais - Erosão
Poluição por mineração	Poluição relativa às atividades de mineração	- Disposição de materiais inertes que sobram - Presença de elementos tóxicos
Poluição acidental	Poluição proveniente de acidentes	- Decorre do derramamento de materiais (na linha de produção ou transporte)

Fonte: Adaptado de CETESB, 1988 apud Macedo, 2002.

Alguns exemplos dessas atividades em Santa Catarina são a “... extração e beneficiamento de carvão, a produção agrícola (principalmente arroz, batata, fumo, mandioca, suínos e leite) e a atividade industrial, principalmente de pequenas e médias indústrias” (Santa Catarina, 2006, p.25). Além destas, outras atividades como a disposição inadequada de resíduos, tornam agravante a situação dos recursos hídricos.

Mesmo com poucos estudos sobre a questão da contaminação das águas subterrâneas sabe-se que a região sul do Brasil é uma das poucas áreas onde o impacto da mineração de carvão sobre este recurso é notável, deixando em evidencia três Bacias hidrográficas em Santa Catarina. São consideradas impactadas por esta atividade as bacias dos rios Araranguá, Tubarão e Urussanga (ANA, 2007). O volume total de rejeito e estéril depositados nestas bacias totaliza mais de 370.000.000 m³ (JICA, 1998). A exposição em depósitos rejeitos e estéreis da mineração do carvão às condições atmosféricas e, conseqüentemente, dos seus materiais sulfetados, possibilita a formação da drenagem ácida, provocando a alteração da qualidade das águas superficiais e subterrâneas das bacias mencionadas (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008).

A drenagem ácida originada a partir da oxidação da pirita é caracterizada por elevada concentração de acidez, sulfatos e de metais como Al, Cu, Fe, Mn e Zn (Lyew et al., 2001 apud REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

Os primeiros trabalhos de exploração de carvão no estado catarinense ocorreram na região de Lauro Muller, em 1861, mas foi na década de 1940 que a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) alavancou a produção do carvão em Santa Catarina visando inicialmente suprir com carvão metalúrgico a demanda originada no país pela instalação de grandes complexos siderúrgicos (MILIOLI; SANTOS; CITADINI-ZANETTE, 2009).

Após a privatização da Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) no início da década de 1990, a produção de carvão metalúrgico nacional, caiu mais de 15% do total para menos de 0,1%. Atualmente a maior parcela da produção de carvão de Santa Catarina é destinada à geração de energia elétrica nas plantas termelétricas do Complexo Jorge Lacerda, localizadas no município catarinense de Capivari de Baixo (MILIOLI; SANTOS; CITADINI ZANETTE, 2009).

Os impactos gerados por problemas de produção de acidez não se restringem apenas à área minerada; elas podem atingir os corpos hídricos superficiais e subterrâneos distantes do empreendimento, com reações químicas que ocorrem por muitos anos, mesmo depois de esgotado o depósito mineral (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008).

2.3.1 Técnicas de prevenção ou de controle de drenagem ácida

Atualmente existem diversas técnicas com o objetivo de mitigar as ações da drenagem ácida gerada pela estocagem de carvão, dentro ou fora da área minerada. As alternativas usuais empregadas para minimizar a geração de acidez em resíduos de mineração são as chamadas coberturas úmidas e coberturas secas (UBALDO; BORMA; BARBOSA, 2006). A cobertura úmida consiste no cobrimento da área com água, e a cobertura seca, no cobrimento da área do depósito com camadas de solo. O objetivo nos dois os procedimentos, é tornar mínimo a entrada de oxigênio para dentro do material reativo, diminuindo assim o processo gerador de acidez (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008).

Soares e Borma (2012), explicam que a finalidade principal no caso das coberturas secas, é limitar a infiltração, de forma a reduzir o volume de percolado

que atravessa a zona oxidada do interior da pilha de resíduo podendo alcançar as águas subterrâneas. A cobertura deve otimizar a evapotranspiração, o escoamento superficial e a capacidade de armazenamento de água (UBALDO; BORMA; BARBOSA, 2006).

Esse tipo de cobertura é muito similar às utilizadas em aterros de resíduos sólidos urbanos (SOARES; BORMA, 2012). Ela pode consistir de uma camada de argila compactada, materiais sintéticos como geomembranas, como também pode ser substituída por materiais alternativos provenientes de outras atividades, desde que estes materiais apresentem as propriedades necessárias para essa substituição (SOARES; SANTOS; POSSA, 2008).

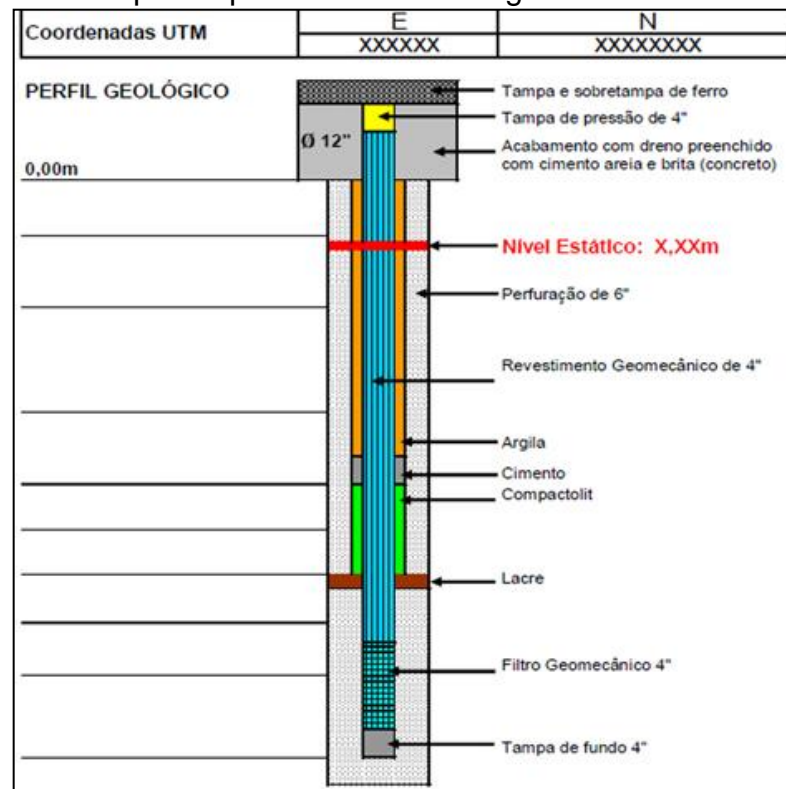
2.4 MÉTODOS DE CONSTRUÇÃO E AMOSTRAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA

Para avaliar a qualidade das águas subterrâneas o órgão ambiental exige a instalação de poços de monitoramento em áreas que possuam possíveis fontes de contaminação (OLIVEIRA, 2013).

2.4.1 Aspectos construtivos

A Norma NBR 15.495-1 publicada pela ABNT em 18/06/2007 apresenta todos os aspectos que devem ser seguidos na construção de poços de monitoramento. O mesmo deve conter características como diâmetro de 4 polegadas (100 mm) e revestidos com tubos geomecânicos (revestimento e filtro) de 2 polegadas (50 mm). A figura 2 mostra o perfil construtivo de um poço de monitoramento.

Figura 2 - Exemplo de perfil construtivo segundo a norma NBR 13.865



Fonte: Krebs et al, 2010.

O monitoramento através dos poços de monitoramento é fundamental para subsidiar as ações de controle da poluição ambiental e gestão dos recursos hídricos.

2.4.2 Atividades de Campo

As atividades de campo envolvendo a amostragem de água subterrânea abrangem as operações de purga do poço de monitoramento, e a retirada da amostra a ser enviada ao laboratório. Cuidados especiais devem ser tomados para que a amostragem seja feita com sucesso, de modo que os resultados das análises tenham o mínimo de erro (CAVALCANTI, 2009).

Esta tarefa deve ser realizada por um profissional qualificado e treinado para a atividade (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Antes de se iniciar a amostragem no poço de monitoramento deve ser eliminada a água estagnada de seu interior. Este procedimento é chamado de purga.

A necessidade da purga antes do procedimento de amostragem é para que a amostra de água subterrânea a ser coletada seja representativa do meio amostrado. A água estagnada no poço, a qual esteve em contato com a atmosfera por um longo período de tempo, passando por reações físico-químicas, está sujeita a atividades bacteriológicas (BOTTURA, 2009).

É necessária também a verificação do entorno dos poços de monitoramento a serem amostrados, estes necessitam estar sempre limpos antes do deslocamento dos equipamentos e materiais (BOTTURA, 2009). A água do procedimento de purga, não deve ser escoada pela superfície na área de influência da amostragem, bem como a água utilizada para a limpeza dos equipamentos (BOTTURA, 2009).

Todos os materiais e equipamentos de amostragem a serem utilizados para as medições “in situ”, e que manterão contato com a amostra, devem ser de material apropriado à amostra programada, bem como devem ser lavados e descontaminados antes da utilização no campo (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Antes de começar o procedimento de coleta, deve-se medir o nível d’água e a profundidade do poço (CAVALCANTI, 2009), também é recomendável que sejam medidos com uma sonda introduzida no poço, a turbidez, temperatura, pH, potencial de oxirredução (POR), condutividade elétrica (CE) e oxigênio dissolvido (OD), a medição destes parâmetros é importante na interpretação dos resultados de monitoramento (NBR 15847, 2010).

Bottura (2009), comenta que o ideal é que se inicie a amostragem a partir do poço de menor concentração de contaminantes seguindo paulatinamente para finalizar no poço de maior concentração de contaminantes, evitando-se assim contaminação progressiva. Ainda neste sentido, se recomenda a utilização de equipamentos de amostragem individuais (um para cada poço) durante uma mesma campanha amostral.

2.4.2.1 Equipamentos de amostragem

Antes da amostragem se faz necessária a escolha do equipamento adequado (NBR 15847, 2010). Entre os equipamentos disponíveis para a purga e amostragem, Bottura (2009) destaca basicamente três categorias:

- Equipamentos manuais que são equipamentos de fácil operação e baixo custo. Esse grupo é representado pelos amostradores permanentes e descartáveis, denominados universalmente como *Bailer*. São constituídos por tubos flexíveis ou rígidos de diversos materiais, como PVC, Polietileno e Aço inoxidável, o mais utilizado em todo o mundo é o Bailer descartável de Polietileno. No entanto, segundo Cavalcanti (2009), a introdução do mesmo no poço provoca movimentos de “entra e sai” da água no filtro do poço, gerando o aumento da turbidez na amostra podendo afetar a concentração de metais.
- Equipamentos de Sucção: São bombas peristálticas e centrífugas, de médio e alto custo, que ficam posicionadas na superfície e exercem pressão inferior à atmosférica no ponto de captura da água no interior do poço, criando assim o efeito de sucção. São largamente utilizadas para purga, porém não muito recomendadas para procedimentos de amostragem, pois elas possuem alta vazão e seu corpo mantém contato com a água bombeada dificultando a aplicação de procedimentos de descontaminação.
- Deslocamento positivo: Esta categoria é representada pelas bombas Submersas Elétricas e as bombas Pneumáticas de Bexiga. Estas bombas são colocadas no interior do poço de monitoramento abaixo do nível d'água e por deslocamento positivo, exercido sobre pressão, elevam a água até a superfície. São equipamentos de operação mais cuidadosa que os apresentados anteriormente.

A amostra de água subterrânea deve ser filtrada ainda em campo visando à remoção dos sólidos em suspensão para quando o objetivo da amostragem é a determinação de metais dissolvidos ou quando os contaminantes podem ser adsorvidos pelo material sólido em suspensão (CAVALCANTI, 2009). Na tabela 2 pode-se observar a diferença de uma amostra filtrada e não filtrada. Recomenda-se o uso de filtros com poros iguais ou inferiores a $0,45\ \mu\text{m}$ (JICA, 1998).

Tabela 2 - Concentração de metais em amostras de águas segundo os métodos de amostragem.

Método de amostragem	Baixa Vazão com bomba Peristáltica	Purga de 3 a 5 vezes com Bailers	Purga de 3 a 5 vezes com Bailers
Tipo da amostra	Não Filtrada	Não filtrada	Filtrada
Turbidez (NTU)	0,5	>100	0,6
Chumbo	2	29	2
Alumínio	57	5.490	84
Cobalto	9	44	11
Cobre	9	22	19
Ferro	21	4.920	7
Manganês	2	899	3
Níquel	12	33	29
Vanádio	7	31	13

Fonte: Cavalcanti, 2009.

Os frascos para armazenamento das amostras devem ser em material apropriado de acordo com contaminante a ser analisado; é indispensável que a etiqueta de identificação deste recipiente contenha as seguintes informações: nº da amostra e do poço amostrado, data e horário da coleta, nome do coletor e parâmetros a serem analisados (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

Os frascos contendo as amostras devem ser devidamente etiquetados, lacrados e acondicionados em caixas térmicas, sendo mantida à temperatura da ordem de 4°C (+/- 2°C), protegidos da luz e minimizando os riscos de quebra ou perda de frascos (BOTTURA, 2009).

As amostras devem estar acompanhadas do original da Cadeia de Custódia (Chain of Custody) e cópia do Boletim de Amostragem (BOTTURA, 2009).

2.4.2.2 Fatores que afetam a amostragem

Bottura, (2009) exemplifica alguns tipos de fatores que podem afetar a amostragem de água subterrânea:

- Fatores Geológicos e Hidrogeológicos: As condicionantes geológicas, variações litológicas e estratigráficas, ocasionam interferências na geometria e direção do fluxo subterrâneo exercendo acentuada influência na área de captura de um poço de monitoramento.

- Fatores Hidrogeoquímicos: Os fatores hidrogeoquímicos influenciam de duas formas: indiretamente nos procedimentos de amostragem (manuseio dos

equipamentos e amostras, medições “in situ”, preservação das amostras e necessidade da realização de brancos) e diretamente sobre a qualidade da água amostrada. A reutilização de materiais sem a limpeza adequada pode fazer com que os equipamentos absorvam os contaminantes dando origem à contaminação cruzada. Além dos cuidados inerentes ao procedimento de amostragem, a utilização de equipamentos descartáveis e a realização de brancos são elementos que poderão orientar na avaliação dos fatores que interferem nas amostragens.

- Fatores Estruturais: A condição de construção do poço de monitoramento é o principal fator que interfere diretamente na qualidade da água da amostragem e no estudo. O projeto, penetração no aquífero, os materiais empregados (filtros, revestimentos, pré-filtro, isolamento) e principalmente a qualidade do desenvolvimento da construção do poço, exercem influência na amostragem.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste estudo é considerada quanto à natureza, como sendo uma pesquisa básica, pois segundo Boaventura (2004, p.56) uma pesquisa básica ou fundamental trata-se de uma “... investigação que procura aumentar o conhecimento sobre o homem, a natureza e a própria humanidade.”. Quanto à forma de abordagem do problema o trabalho classifica-se como sendo uma pesquisa quantitativa, desta forma Oliveira (1999) define como método quantitativo:

[...] conforme o próprio termo indica, significa quantificar opiniões, dados, na forma de coleta de informações, assim como também o emprego de recursos e técnicas estatísticas desde a mais simples, como porcentagem, média, moda, mediana e desvio padrão, até as de uso mais complexos, como coeficiente de correlação, análise de regressão etc., normalmente utilizados em defesas de tese. (Oliveira, 1999, p.115).

Com relação aos objetivos esta pesquisa é considerada como descritiva, aonde dentro desta metodologia se propõe o escopo de identificar as características de determinada população, fenômeno ou eventos do mundo (BOAVENTURA, 2004).

Os procedimentos técnicos utilizados nas atividades previstas para a realização do trabalho são a pesquisa, e a utilização e interpretação de referências bibliográficas. A elaboração de bases temáticas foi realizada com apoio dos documentos fornecidos pela empresa, principalmente com relação à definição dos pontos de amostragem para a avaliação das análises físico-químicas e a busca de informações para formatação do banco de dados. Foram realizadas a descrição do uso do solo e das fontes efetivas de poluição, e por fim o tratamento estatístico dos dados e sua interpretação segundo os preceitos legais.

3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Em 1945 a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) implantou no município de Capivari de Baixo – SC, o Lavador de Carvão (LAVACAP), que tinha como objetivo beneficiar o carvão oriundo das minas de Criciúma e região, separando o carvão metalúrgico do energético.

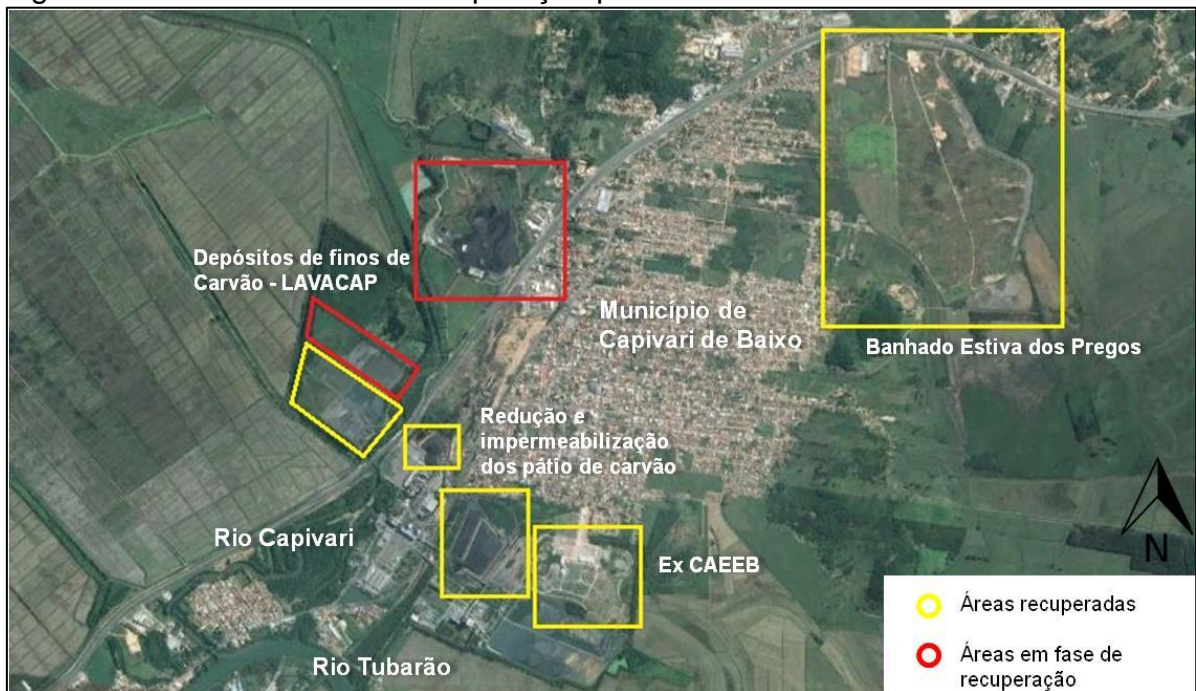
Com o aumento da demanda por energia elétrica, em 1957 é criada na cidade de Tubarão, a SOTELCA (Sociedade Termoelétrica de Capivari S.A) para aproveitar o carvão abundante na região para gerar energia. Naquela época, a empresa responsável por receber o carvão mineral extraído das minas, e vendê-lo para a Siderurgia Brasileira S/A (Siderbrás) e para as usinas termelétricas era a Companhia Auxiliar de Empresas Elétricas Brasileiras (CAEEB) (HAMILTON, 2008).

Em 1965 entrou em funcionamento Termelétrica Jorge Lacerda, surgida a partir da Sotelca. Neste ano foram inauguradas as Unidades geradoras 1 e 2, após isso em 1976 foram acionadas as Unidades 3 e 4, todas pertencentes a mesma Usina, a UTLA. As Unidades 5 e 6 que fazem parte da Usina UTLB, deram início as atividades em 1979, e a Unidade 7, a mais recente, começou a trabalhar em 1997 e foi chamada de UTLC (SGW, 2013).

O desenvolvimento dessa atividade, ao mesmo tempo em que proporcionou amplo progresso econômico e social para a região, gerou uma série de graves impactos ambientais sobre o solo e as águas. Ao longo dos anos, o beneficiamento do carvão formou depósitos, do rejeito do minério, sendo normalmente armazenadas, sem qualquer tipo de cuidado, constituindo montanhas com milhões de toneladas do resíduo, tornando-se focos de poluição (JICA, 1998).

Diante da obrigação de desenvolver ações para preservar os mananciais e o solo, o poder público de Santa Catarina, por meio da Fundação do Meio Ambiente (Fatma), iniciou no final dos anos 80 um processo para recuperar essas áreas, em parceria com as estatais que à época controlavam o beneficiamento e o uso do carvão (Lavacap, CAEEB e Eletrosul) (Tractebel Energia, 2009). Em 1998, com a aquisição da estatal Gerasul pelo Grupo SUEZ, controlador da Tractebel Energia, os depósitos formados durante a operação de empresas de beneficiamento e comercialização de carvão passaram a ser recuperados pela empresa. Com a aquisição, a Tractebel Energia ficou responsável por 47 hectares de áreas degradadas, correspondentes ao pátio da ex-CAEEB, e também colaborou com o projeto de recuperação de outras áreas, que juntas somam um total de 260 hectares (Tractebel Energia, 2009). A figura 3 apresenta as áreas no entorno do CTJL que foram recuperadas e que estão em fase de recuperação.

Figura 3 - Áreas em fase de recuperação próximas ao CTJL.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2015.

Além disso, realizou a redução, e recentemente, a impermeabilização dos pátios de depósito do carvão usado nas usinas do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda (Figura 4).

Figura 4 - Área do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2015.

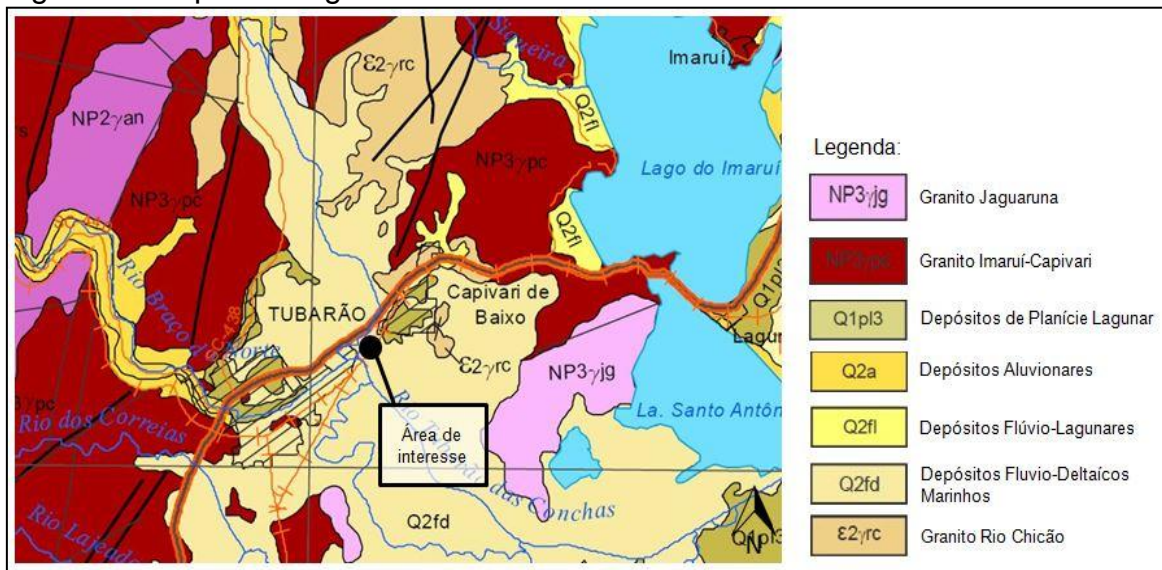
Atualmente a disposição do estoque do carvão para o depósito da UTLA ocupa uma área aproximada de 20.000 m² e das UTLs B e C uma área com cerca de 132.500 m².

3.1.1 Geologia regional

Baseado no mapeamento contido na Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (2004) realizado pelo Serviço Geológico Brasileiro-CPRM, constatou-se que a área do CTJL esta inserida no contexto geológico da Província Costeira de Santa Catarina sendo constituído por dois diferentes domínios geológicos: Batólito de Florianópolis e depósitos Cenozóicos.

O Batólito de Florianópolis é representado pelos Granitos Imaruí-Capivari, Jaguaruna e Rio Chicão. Os Depósitos Cenozóicos ocorrem de forma significativa na área de estudo, sendo que esse domínio é composto por depósitos sedimentares inconsolidados de sistema litorâneo ou transicional (Figura 5).

Figura 5 - Mapa Geológico da área de estudo.



Fonte: CPRM, 2014.

No contexto do Batólito de Florianópolis, o Granito Jaguaruna apresenta aspectos texturais e petrográficos homogêneos em todas as intrusões cartografadas, mostrando-se com textura equigranular média a grossa, localmente seriada ou porfírica, e coloração de cinza a rosa (SCHOBENHAUS; GONÇALVES; e SANTOS, 2004).

Estes autores citam ainda que o Granito Imaruí-Capivari constitui-se predominantemente por sieno e monzogranitos de cor cinza a rosa, de textura porfírica, granulação grossa a média, às vezes pegmatóide, com abundantes fenocristais de feldspato alcalino. Enquanto que sob a designação de Granito Rio Chicão estão agrupados cerca de dez *stocks* graníticos posicionados ao longo da borda leste do Granito Imaruí-Capivari. Está representado por sienogranitos, com monzogranitos subordinados, leucocráticos, de cor cinza-claro, porfíricos, contendo esparsos fenocristais de feldspato alcalino com dimensões de 2 a 5 cm, que constituem 2% a 20% do volume da rocha (SCHOBENHAUS; GONÇALVES; e SANTOS, 2004).

A planície costeira é constituída por unidades geológicas de idade Cenozóica, agrupadas em sistemas deposicionais correspondentes à parte emersa da Bacia de Pelotas. A origem da Bacia de Pelotas está indiscutivelmente relacionada com os acontecimentos geotectônicos que conduziram a abertura do Oceano Atlântico Sul, a partir do Jurássico, e que resultaram na ruptura do bloco

continental gondwânico e posterior separação dos continentes africano e sulamericano (VILLWOCK; TOMAZELLI; 1995).

A formação Depósitos Cenozóicos sofreu ação de vários ciclos transgressivos e regressivos, controlados por movimentos isostáticos e posteriormente por movimentos eustáticos durante o Quaternário, principalmente no Pleistoceno superior e Holoceno (DIEHL; HORN, 1996). Os depósitos Flúvio-Deltaicos Marinhos são constituídos de lamas e areias biodetríticas, areias arcóssias e cascalhos que se apresentam sobrepostos em função de episódios distintos de variações do nível relativo do mar.

Através do estudo realizado pela SGW (2013) para a Tractebel Energia e no conhecimento da existência de sambaquis na área do CTJL, com a utilização de sondagens mais profundas foi possível constatar a presença de sedimentos e materiais marinhos. Determinado que a área sofreu influência de eventos transgressivos, onde posteriormente sedimentos relacionados aos corpos superficiais (em especial o Rio Tubarão) se acumularam.

O nível litológico superior, com espessura de até 5 m, compreende aterros e solos/materiais movimentados na zona não saturada e interface. Os litotipos registrados variaram entre aterros de areia por vezes argilosa com presença de minerais milimétricos, de coloração marrom a alaranjado, a argilo-siltoso pouco arenoso marrom. Podem ainda ser observados cinzas, carvão e níveis orgânicos, com distribuição irregular na área e espessuras variadas (SGW, 2013).

Pontualmente para as áreas de depósito de carvão, o relatório SGW, (2013) destacou os seguintes perfis litológicos:

- Depósito de carvão da UTLA: presença de um aterro superficial formado por areia de granulação média a grossa cuja coloração variou de marrom a alaranjada, seguida por vezes de aterro de carvão. Após a passagem do aterro, os solos naturais apresentaram constituição areno-argilosa a argilo-arenosa, com presença de argilas plásticas de coloração variando entre marrom claro a escuro, cinza e laranja.

- Depósito de carvão das UTLs B e C: aterro de carvão e cinzas em algumas sondagens, seguido de solo natural de granulometria e constituição semelhante em todo o CTJL, com predominância de litologias sedimentares areno-argilosas a argilo-arenosas. Em algumas sondagens notou-se a presença de argila orgânica.

De forma geral, o relatório da SGW (2013) expõe que no local foram observadas intercalações de camadas sedimentares compostas por argila e areias finas a médias, com porcentagens variadas, com a presença de argila orgânica em algumas sondagens.

O perfil geológico representativo da área do CTJL identificou na base, a presença de rocha sã (com locais de afloramento), em profundidades de até 15 m e alteração de rocha. Sobreposto a este material, tem-se estabelecidas sequências sedimentares, associadas a regimes marinhos e corpos fluviais, com alternâncias entre materiais arenosos e argilosos e condutividades hidráulicas que variaram entre 10^{-5} e 10^{-2} cm.s⁻¹ (SGW 2013).

3.1.2 Hidrogeologia local

Na área onde se localiza o CTJL podem ser encontrados pelo menos dois sistemas aquíferos distintos: o fraturado, relacionado às áreas de ocorrência das rochas cristalinas do Batólito de Florianópolis e o sistema intergranular (Depósitos cenozóicos), geralmente livre, que corresponde às áreas de ocorrência dos sedimentos terciários/quaternários. Segundo o relatório da SGW (2013), este aquífero é o de maior interesse na área de estudo e vem sendo monitorado pela empresa.

Ainda, conforme o estudo da SGW (2013), o embasamento ou topo rochoso (Embasamento Cristalino) foi observado a partir dos 12 a 15 metros de profundidade. O fluxo da água subterrânea nessa camada é condicionado por fraturas, fissuras e outros lineamentos estruturais ou composicionais. O aquífero fraturado na região possui características confinantes e é considerado de produtividade pobre e aleatória, esperando-se condições de baixa condutividade nesta camada em relação às demais (SGW, 2013).

A caracterização do sistema aquífero Depósitos Cenozoicos, de acordo com o perfil geológico representativo descrito pels SGW (2013) para a área de estudo, é descrito como:

Primeira sequência sedimentar. acontece de 6 a 10 m, composta do topo para a base por uma camada de argila siltosa pouco arenosa marrom a acinzentada com matéria orgânica, apontando planície de inundação. Abaixo incidem areias médias a grossas a argilas bastante arenosas (areia grossa) cinza a marrom, por

vezes com presença de cascalho. Podem ocorrer ainda níveis de areia média a grossa com proporção variável de argila, de tonalidade marrom a cinza. A sequência é completada por um nível de argila pouco arenosa compacta com intercalações e veios de areia fina, de coloração bege a cinza.

Segunda sequência sedimentar: incide entre 10 a 15 m, formada por camadas saturadas arrançadas também por níveis de areia média a grossa com proporção variável de argila, de coloração marrom a cinza, a areias médias a grossas a argilas bastante arenosas (areia grossa) cinza a marrom, por vezes com presença de cascalho. Sotoposto ainda podem ocorrer argilas pouco arenosas compactas com intercalações e veios de areia fina, coloração bege a cinza, transitando novamente para areia fina a média pouco argilosa a argila arenosa marrom e cinza, e seixos centimétricos raro argilosos a arredondados em matriz de areia fina a mediana pouco argilosa com quartzo.

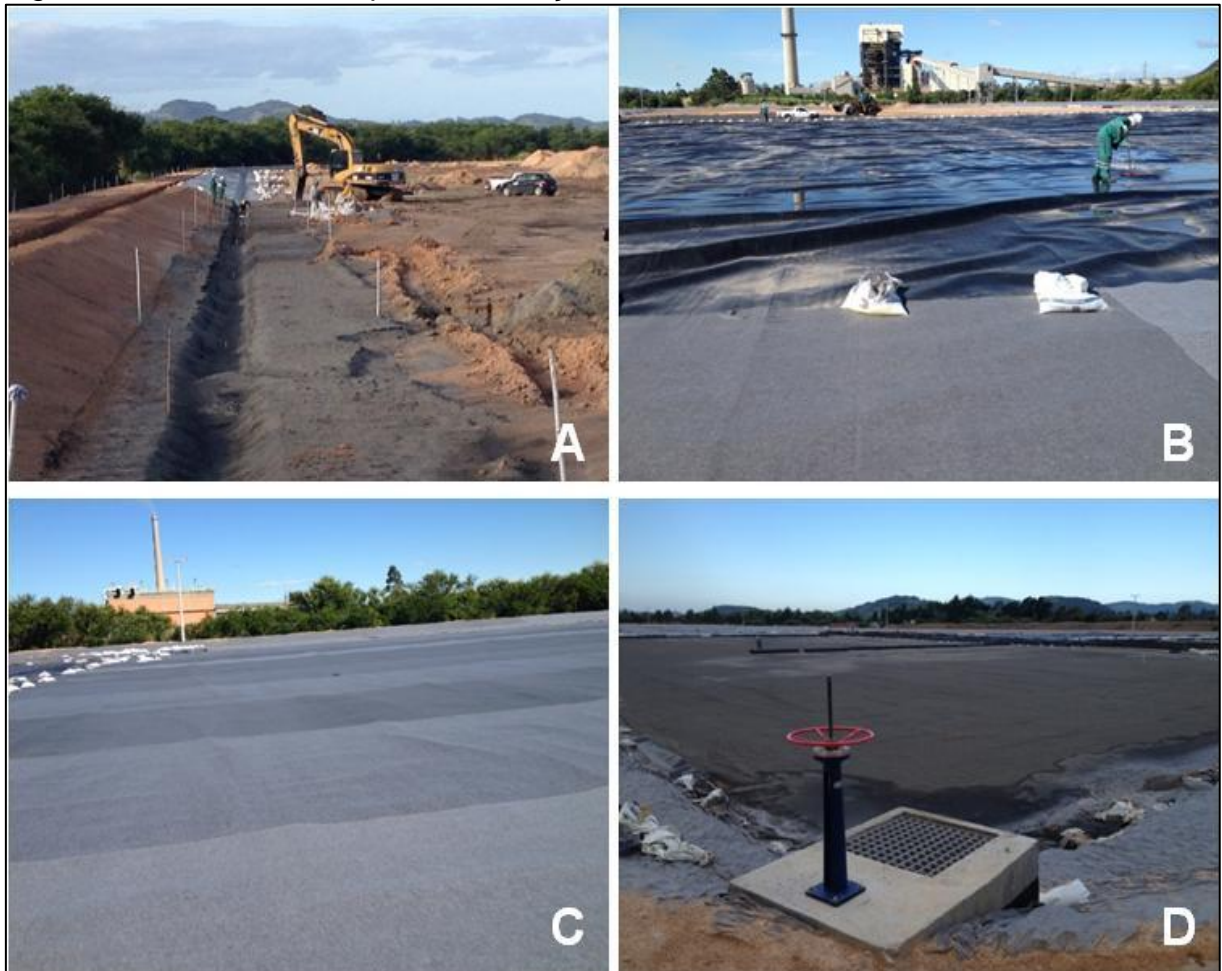
3.1.3 Impermeabilização dos Pátios

A impermeabilização dos depósitos de carvão da UTLA ocorreu em 2009, UTLs B e C em 2011 e no ultimo ano concluíram-se as obras do pátio auxiliar.

Nas áreas impermeabilizadas executou-se o trabalho de terraplanagem, para que através da mudança de declividade e gravidade, fosse possível o encaminhamento das águas das chuvas para o sistema de drenagem localizado ao pé da face interna do dique (Figura 6A). O dique foi dimensionado em função das médias históricas de precipitações na região. Apresenta largura da crista de 5 m para a passagem de caminhão e declividade do talude de 1:2, com uma altura delimitada na cota 5,2 m para o pátio de carvão principal UTLB/C, 7,20 m para o pátio da UTLA e de 9,20 m para o pátio auxiliar

O processo de impermeabilização consistiu na utilização da geomembrana MacLine®, o geotêxtil não tecido MacTex® e uma camada de cinza sobre estas membranas (Figuras 6B, 6C e 6D).

Figura 6 - Processo de impermeabilização dos Pátios de Carvão.



Fonte: Tractebel Energia, 2015.

O quadro 3 resume a função de cada componente utilizado na impermeabilização do depósito.

Quadro 3 – Componentes do sistema de impermeabilização dos Pátios de estocagem de Carvão.

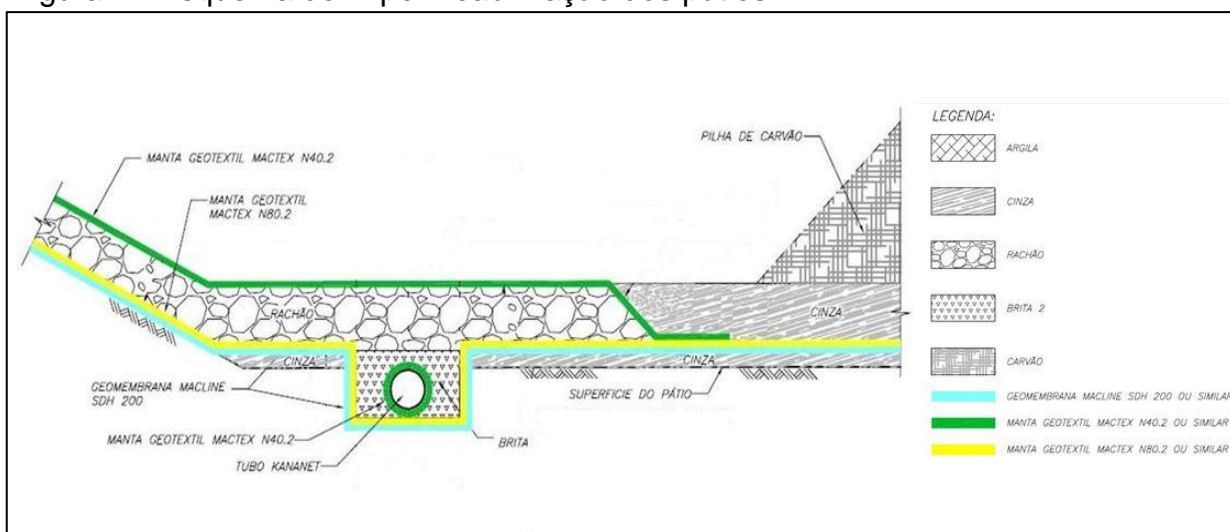
Materiais	Função
Geotêxtil Não-Tecido em Poliéster - Macaferri - MacTex N40.2	Controle de fluxo
Geotêxtil Não-Tecido em Poliéster – Macaferri® - MacTex ® N80.2, ou similar (proteção mecânica)	O geotêxtil não tecido MacTex® para proteção mecânica da geomembrana MacLine®
Geomembrana - Macaferri - MacLine SDH 200	Impermeabilização
Cinza com altura de 10 e 40 cm	Proteger a manta e a geomembrana

Fonte: Tractebel Energia, 2015.

O sistema de drenagem dos pátios de carvão consiste em tubos porosos, envoltos com brita e manta geotextil Mactex® (Figura 7), sendo estes interligados

por caixas de coleta (Figura 6D). Toda água captada é encaminhada para uma grande caixa coletora na saída de cada pátio; esta caixa é controlada por uma comporta manual, permitindo a saída do fluxo do efluente para a drenagem externa já existente. Na sequência, este efluente é encaminhado para a caixa “K” (caixa que faz a coleta dos efluentes dos três pátios impermeabilizados) sendo em seguida recalcado para as bacias de cinzas “A e “B” da UTLC, onde é neutralizado.

Figura 7 - Esquema de impermeabilização dos pátios.



Fonte: Tractebel Energia, 2015.

A geomembrana MacLine® é produzida com PEAD, a partir de resinas virgens e estabilizadas, conferindo-lhes características mecânicas, ótima compatibilidade química, flexibilidade e perfeita soldabilidade. Devido à sua baixa permeabilidade (10^{-12} a 10^{-15} cm/s), são bastante utilizadas como barreira para líquidos e gases, sendo disponibilizadas em várias espessuras, em função do tipo de aplicação que se destinam.

Já o MacTex® é um geotêxtil não tecido agulhado produzido com fios de polipropileno ou poliéster, distribuídos aleatoriamente e interligados. Suas principais aplicações são a de filtração, separação e proteção aplicadas em vários tipos de obras de engenharia.

3.2 ANÁLISE DE DADOS

O programa de monitoramento da qualidade das águas realizado pela Tractebel Energia quinzenalmente na área de estudo, tem a função de acompanhar

a evolução da qualidade ambiental dos corpos d'água da área. Atualmente a empresa conta com 7 poços de monitoramento, utilizados para avaliar a influência das bacias de cinza e do pátio de carvão na água subterrânea.

A pesquisa em questão contempla os dados históricos dos poços de monitoramento das águas subterrâneas referentes ao pátio de estoque de carvão das UTLs B e C (Anexos B, C e D). Na tabela 3 são apresentadas as coordenadas geográficas e as cotas topográficas dos poços de monitoramento considerados no presente estudo, bem como na figura 7 a localização dos mesmos.

Tabela 3 - Localização dos poços de monitoramento de lençol freático no pátio de carvão.

Poços	Coordenadas Geográficas (Graus)		Cota topográfica (m)
	Sul	Oeste	
ALP 01	28°45'29"	48°96'26"	4,46
ALP 02	28°45'35"	48°96'65"	4,61
ALP 03	28°45'61"	48°96'68"	6,92

Fonte: Adaptado de Rosa, 2012.

Como citado anteriormente o pátio em questão, passou pelo processo de impermeabilização no ano de 2011. Buscando a homogeneidade na análise dos dados estatísticos, optou-se por trabalhar o período compreendido entre os anos de 2010 e 2014, descartando-se os dados de 2015.

A figura 8 apresenta a localização dos poços na área de estudo. Localizado mais a norte e à montante da área, com relação ao fluxo da água subterrânea, o ALP01 localiza-se próximo de residências do município de Capivari de Baixo e da linha férrea que descarrega o carvão no pátio. O poço ALP02 está à jusante da área, encontra-se entre a área de estudo e a principal rodovia que corta o município de Capivari de Baixo, possui em seu entorno áreas verdes, que são resultantes do processo de recuperação para a redução do pátio de carvão. O ALP03 também à jusante da área considerando o fluxo das águas está localizado mais a sudoeste, é o poço mais próximo da área de estudo. Na figura 9 encontram-se as imagens da estrutura dos poços em questão, sendo que 9A corresponde ao ALP01, 9B ao ALP02 e 9C ao ALP03 no momento em que estava sendo realizada a amostragem.

A empresa possui o perfil litológico e construtivo dos poços, porém não foi encontrado para ser anexado a este trabalho.

Figura 8 - Localização dos poços na área de estudo.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2015.

As amostragens realizadas pela empresa seguiram as recomendações da norma técnica da CETESB nº 6410 de 1988. Tal norma que foi adaptada pela ABNT como NBR 13895/97 e posteriormente atualizada como NBR 15495/2010, traz recomendações sobre métodos de construção de poços e amostragem de água subterrânea.

Figura 9 - Poços de monitoramento. A) ALP01; B) ALP02; C) ALP03



Fonte: Tractebel Energia, 2015.

Conforme sugerido por Cavalcanti (2009), no dia anterior à amostragem se realiza a purga nos poços de monitoramento. Desta forma, uma campanha amostral de água subterrânea considera sempre as duas etapas: purga e amostragem.

Os parâmetros analíticos que compõem o presente estudo foram selecionados em função do Terceiro Relatório de Monitoramento dos Indicadores Ambientais estabelecidos pelo Grupo Técnico de Assessoramento (GTA), na Ação Civil Pública (ACP) do Carvão, onde faz parte o Plano de Monitoramento dos Indicadores Ambientais para os recursos hídricos superficiais e subterrâneos das áreas degradadas pelo carvão.

As análises físicos-químicas foram realizadas conforme determina o Standart Methods for Examination of the Water, 20ª edição. Os indicadores ambientais da qualidade da água subterrânea considerados neste estudo estão descritos no quadro 4, assim como, o valor mínimo detectável, e o método de análise.

Quadro 4 - Métodos de análise e valor mínimo detectável para os indicadores de qualidade das águas.

Parâmetro	Valor mínimo Detectável	Método de Análise
pH	Faixa (0,1 a 14)	Potenciométrico
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	0,001	Condotométrico
Acidez (mg.L ⁻¹ CaCO ₃)	0,5	Titulometria
Ferro Total (mg.L ⁻¹)	0,01	Espectro. Fotometria
Manganês Total (mg.L ⁻¹)	0,01	Espectro. Fotometria
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	5,0	Espectro. Fotometria

Fonte: Tractebel Energia, 2015.

A interpretação dos resultados e avaliação temporal da qualidade das águas, com os resultados analíticos foram trabalhados no software Excel, de modo a auxiliar a tabulação dos dados, tratamento estatístico e representação gráfica.

A análise estatística foi aplicada para cada parâmetro e por poço de monitoramento, permitindo avaliar onde a diferença entre os dados se mostra significativa, ou seja, onde pode se afirmar que existe diferença significativa entre os resultados de um ano para outro, e entre os poços.

Tal análise considerou a média, valor máximo e mínimo obtido no período estudado, desvio padrão e o intervalo de confiança de 95% de certeza ($\alpha < 0,05$). Em outras palavras, o intervalo de confiança apresenta resultados numéricos, inferior e superior, entre os quais pode se dizer com 95% de certeza, que se encontra a verdadeira média.

Dentro do período de estudo para os poços referentes à área em questão, a empresa realizou um total de 112 campanhas de amostragem para o ALP01, 110 para o ALP02 e 112 para o ALP03. Na tabela 4 encontram-se as quantidades de campanhas para cada ano de estudo.

Tabela 4 - Quantidade de campanhas amostrais por ano.

	2010	2011	2012	2013	2014	Total
ALP01	16	24	24	24	24	112
ALP02	16	24	22	24	24	110
ALP03	16	24	24	24	24	112

Fonte: Da Autora, 2015.

Os dados pluviométricos foram obtidos na estação meteorológica localizada na área do Parque Ambiental da Tractebel, em Capivari de Baixo, SC. Os

dados dos últimos 5 anos se encontram na Tabela 5. Neste período a precipitação média para a área de estudo foi de 1730,6 mm por ano.

Tabela 5 - Dados de precipitação na área de estudo.

Ano	Precipitação (mm)
2010	-
2011	1.829,4
2012	864,6
2013	1.561
2014	2.685,4

Fonte: Tractebel Energia, 2015.

Com base no balanço hídrico para a área de estudo, a SGW (2013) estimou que a recarga média anual varia entre 91,2 a 136,8 mm/ano. O estudo descreveu ainda, o sentido do fluxo das águas subterrâneas na região (Anexo A), indicando que a descarga dos fluxos subterrâneos do aquífero da área do CTJL é a própria drenagem interna do complexo, e o Rio Tubarão posicionados a Sudoeste da área.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

A análise e discussão dos resultados basearam-se nas informações extraídas do banco de dados da Tractebel Energia, que se referem ao monitoramento dos parâmetros da qualidade da água subterrânea do principal pátio de estocagem de carvão, nos últimos cinco anos.

Com base no modelo de fluxo estabelecido pela SGW, 2013, o poço ALP01 que está à montante do fluxo do lençol freático, não sofreria influência do percolado no pátio, já o ALP02, e ALP03 à jusante teriam seus parâmetros modificados conforme a variação do nível freático.

4.1 Resultados para o poço ALP01

Os resultados da análise estatística encontram-se na tabela 6, que mostra o conjunto de dados obtidos em cada ano do período de estudo (2010 a 2014).

Tabela 6 - Resultado da análise estatística para o ALP01.

Parâmetros		2010	2011	2012	2013	2014
pH	Média	3,3	3,3	3,4	3,3	3,4
	Min	2,9	2,9	2,8	2,8	2,4
	Max	3,7	3,7	4	3,9	4,4
	DP	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5
	Lim inf	3,2	3,2	3,3	3,2	3,2
	Lim sup	3,4	3,4	3,5	3,4	3,6
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	Média	2,4	2,7	2,7	3,1	1,2
	Min	1,3	1,5	1,1	1,5	0,5
	Max	3,2	3,9	3,5	4,0	2,8
	DP	0,6	0,6	0,7	0,6	0,7
	Lim inf	2,1	2,4	2,4	2,8	0,9
	Lim sup	2,7	2,9	3,0	3,3	1,4
Acidez (mg.L ⁻¹)	Média	1208	1060	982	1069	414
	Min	978	555	112	640	181
	Max	1520	1393	1369	2665	1101
	DP	164	276	241	410	220
	Lim inf	1128	950	886	905	326
	Lim sup	1288	1171	1078	1233	502
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	Média	1849	1779	1897	1662	774
	Min	1160	310	1466	1250	360
	Max	3920	3982	2742	2267	1900
	DP	676	735	389	251	427
	Lim inf	1518	1485	1742	1561	603
	Lim sup	2180	2074	2053	1762	945

Ferro total (mg.L⁻¹)	Média	401	285	285	282	105
	Min	288	37	158	146	27
	Max	756	660	492	560	250
	DP	143	150	77	109	73
	Lim inf	331	225	255	238	76
	Lim sup	472	344	316	326	135
Manganês total (mg.L⁻¹)	Média	17,8	16,1	13,9	15,6	11,6
	Min	8,4	2,1	6,5	4,8	4,0
	Max	23,5	36,5	25,0	20,0	36,0
	DP	5,2	7,4	5,2	4,8	7,2
	Lim inf	15,2	13,1	11,8	13,7	8,7
	Lim sup	20,4	19,0	16,0	17,5	14,4

Fonte: Da Autora, 2015.

Como observado na tabela 6 e figura 10, o valor de pH não demonstrou uma variação significativa desde o ano de 2010, e se manteve abaixo da faixa de pH utilizada como referência exigido pela legislação. A condutividade apresentou uma redução significativa, estando com seu limite superior em 2014 de $1,5 \text{ mS.cm}^{-1}$, muito abaixo do limite inferior para o ano de 2010 que teve resultado de $2,1 \text{ mS.cm}^{-1}$ (Figura 10b). Esta situação indica uma menor atividade iônica na água deste poço. A acidez apresentou uma alta variação entre os anos selecionados para o estudo, como se observa na figura 10c o limite superior deste parâmetro no ano de 2014 foi de 502 mg.L^{-1} , estando abaixo do limite inferior do ano de 2013 que consistiu em 905 mg.L^{-1} . Desta forma, pode se dizer que tanto para a condutividade elétrica, quanto para a acidez, o conjunto de resultados em 2014 foi estatisticamente melhores que o conjunto de resultados de 2010.

A melhora na qualidade das águas também pode ser observada na média de resultados apresentados para os demais parâmetros. Observa-se que no período compreendido entre o ano de 2010 e 2013, embora tenha sido registrado ano a ano um redução na concentração de sulfatos, esta redução não teve significado estatístico, ou seja, não pode ser afirmado com certeza estatística, que a concentração de sulfatos na água do APL01 estava melhorando. Contudo, o conjunto de resultados obtidos no ano 2014 foi estatisticamente melhor os valores obtidos no restante do período estudado, acusando uma média de 786 mg.L^{-1} . Este valor encontra-se acima dos valores referência (Conama 396/09) para consumo humano, mas é compatível com uso para dessedentação de animais e é estatisticamente melhor que o restante dos dados.

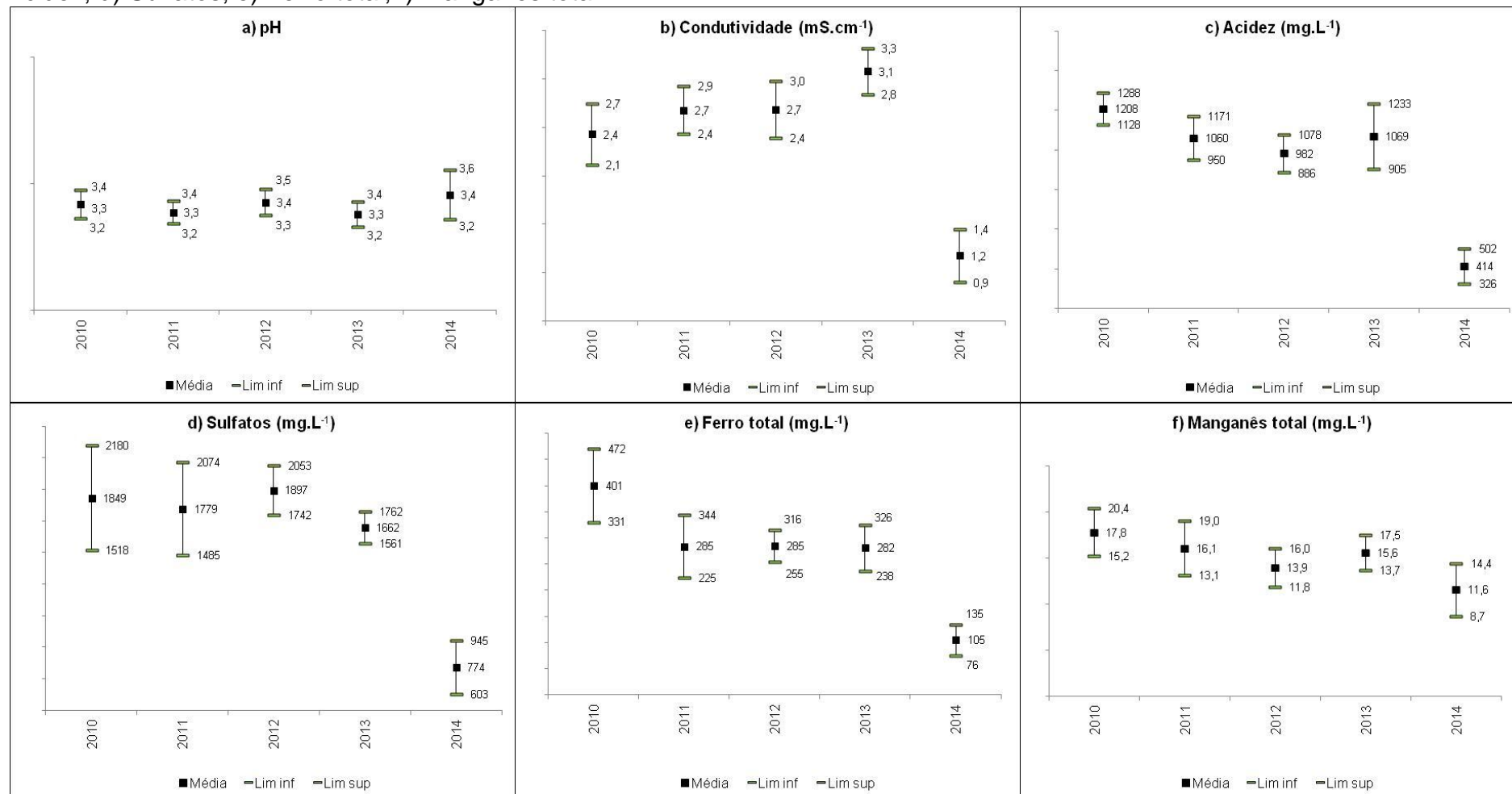
Assim como nos demais parâmetros, os valores obtidos nas análises para ferro e manganês total também diminuíram, embora se mantém acima dos valores de referência propostos pelo CONAMA 396/2008.

Na figura 9e, observa-se que o comportamento da concentração de ferro segue o modelo do sulfato, melhorias registradas no período de 2010 a 2013, porém somente em 2014 que pode ser afirmado que a qualidade da água neste poço é significativamente melhor.

O mesmo aconteceu com o manganês, que apesar de, no ano de 2013 quando apresentou uma concentração maior comparado com o ano de 2012, no ano seguinte em 2014 a sua concentração voltou a diminuir tendo um resultado estatístico significativo quando comparado com 2010. Neste sentido, cabe destacar que o manganês apresenta maior mobilidade geoquímica, em função principalmente da sua variação do número do NOX e da sua solubilidade em ampla faixa de pH (IPAT/UNESCO, 2003).

A análise estatística dos dados podem ser melhor visualizadas na figura 10, que traz as comparações dos parâmetros de qualidade da água subterrânea, do ponto de vista estatístico, para o poço ALP01.

Figura 10 - Tratamento estatístico dos dados da qualidade da água subterrânea do poço ALP01, onde: a) pH; b) Condutividade; c) Acidez; d) Sulfatos; e) Ferro total; f) Manganês total.



Fonte: Da Autora, 2015.

Observa-se que o pH é o único parâmetro que não apresentou melhora com significado estatístico no período estudado. Isto se deve ao fato de que o pH é lido em uma escala logarítmica, o que faz com que as alterações no valor deste parâmetro apresentem-se de forma mais lenta.

De qualquer forma, os resultados obtidos nas campanhas de monitoramento mostram que o poço em questão se apresenta com a qualidade da água comprometida com relação aos parâmetros estudados.

Contudo, como mencionado anteriormente, estatisticamente o ALP01, mostra uma tendência de melhora na qualidade da água, sendo que esta melhoria mostrou-se significativa a partir de 2014, exceto para os parâmetros pH e Manganês total.

Entretanto, este poço se localiza a montante do pátio de carvão, considerando-se o sentido das linhas de fluxo, e, portanto, sem a influência da drenagem ácida gerada pelo pátio de carvão. É possível que a água do poço APL01 sofra influência da linha férrea que passa muito próximo ao local, e cuja base foi construída com rejeitos provenientes da mineração do carvão (Figura 11).

Figura 11 - Detalhe da linha férrea próxima ao poço ALP01.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2015.

Buscando compreender a melhora significativa ocorrida no ano de 2014, para esse poço, observou-se o dado relacionado à precipitação pluviométrica para o mesmo ano. A quantidade de chuva ocorrida no ano em questão ultrapassou a média calculada para os anos do estudo. As chuvas e os processos que envolvem a infiltração são importantes no processo de diluição de poluentes, e neste sentido, destaca-se que na área predomina substrato arenoso.

4.2 Resultados para o poço ALP02

O poço APL02 encontra-se localizado sob a influência do pátio de estocagem de carvão, conforme modelo gerado pela SGW (2013) que mostra o sentido das linhas de fluxo e do caminhamento das partículas.

A tabela 7 apresentou os resultados das análises estatísticas para o ALP02.

Tabela 7 - Resultado da análise estatística para o ALP02.

Parâmetros		2010	2011	2012	2013	2014
pH	Média	5,6	5,5	5,9	5,5	5,5
	Min	4,8	4,8	5,1	3,6	4,5
	Max	6,0	6,0	6,3	6,1	6,2
	DP	0,3	0,3	0,2	0,6	0,4
	Lim inf	5,5	5,3	5,8	5,2	5,3
	Lim sup	5,8	5,6	6,0	5,7	5,6
Condutividade (mS.cm ⁻¹)	Média	1,4	1,7	1,6	1,9	1,1
	Min	0,9	1,2	1,0	1,2	0,8
	Max	2,5	2,7	2,6	2,7	1,4
	DP	0,4	0,4	0,5	0,5	0,2
	Lim inf	1,3	1,5	1,4	1,7	1,0
	Lim sup	1,6	1,9	1,8	2,1	1,1
Acidez (mg.L ⁻¹)	Média	311	199	288	258	185
	Min	119	94	112	134	10
	Max	1384	298	400	485	391
	DP	295	59	77	74	80
	Lim inf	167	176	256	228	153
	Lim sup	455	223	320	288	217
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	Média	1252	1266	1405	1224	1170
	Min	760	63	950	950	96
	Max	2124	2466	1965	1550	1880
	DP	364	525	255	148	378
	Lim inf	1074	1056	1298	1165	1019
	Lim sup	1430	1476	1511	1284	1321

Ferro total (mg.L⁻¹)	Média	108	91	64	64	42
	Min	12	31	27	17	13
	Max	326	342	97	163	153
	DP	79	66	19	34	38
	Lim inf	69	64	56	51	27
	Lim sup	146	117	72	78	58
Manganês total (mg.L⁻¹)	Média	4,2	2,7	2,3	1,9	2,3
	Min	0,2	0,2	1,0	0,2	0,0
	Max	10,4	6,4	6,0	5,0	7,5
	DP	3,2	1,4	1,2	1,3	1,8
	Lim inf	2,6	2,1	1,8	1,4	1,6
	Lim sup	5,8	3,2	2,8	2,4	3,0

Fonte: Da Autora, 2015.

Apesar das obras de impermeabilização, o substrato da área ainda encontra-se sob influência da carga poluente exercida durante anos de lixiviação das pilhas de carvão.

Os dados da Tabela 7 e da figura 12a, demonstram que o pH da água do poço ALP02, se apresentou melhor comparado com o poço ALP01, ficando em destaque o ano de 2012, quando o limite superior atingiu o valor mínimo exigido pela legislação, porém no ano seguinte, voltou a diminuir permanecendo com a média de 5,5 para 2013 e 2014.

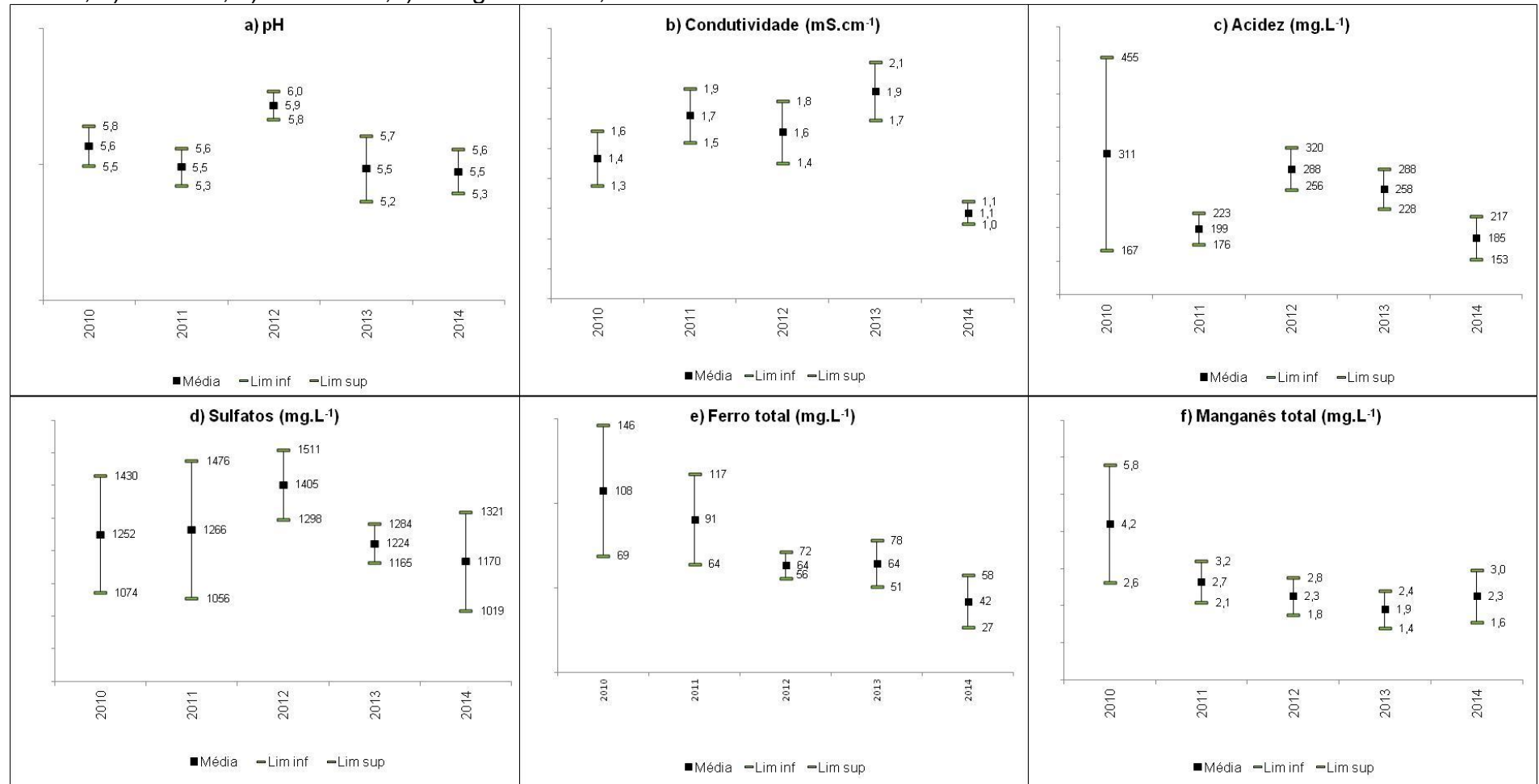
Assim como o pH os valores obtidos para condutividade, acidez e sulfatos sofreram variações contrárias ao que era esperado após a impermeabilização, nos anos de 2011 a 2013. Para a condutividade notou-se melhoras quando o limite superior em 2014 de 1,1 a mS.cm⁻¹ ficando abaixo do intervalo de dados de 2010, quando o limite superior foi de 1,6 e limite inferior de 1,3 mS.cm⁻¹ (Figura 12b). No caso da acidez para este poço não observou-se melhoras, essa situação está elucidada na figura 12c, a média obtida em 2014 para este parâmetro foi de 185 mg.L⁻¹, e permaneceu dentro do intervalo de confiança dos de 2010. Com o comportamento semelhante ao da acidez, a média obtida para sulfatos também permaneceu na mesma faixa de valores obtidos para o ano de 2010. No ano anterior a impermeabilização os valores para este parâmetro foram de: 1.430 mg.L⁻¹ para o limite superior, e 1.074 mg.L⁻¹ para o limite inferior, com o valor médio em 2014 de 1.170 mg.L⁻¹.

Diferentemente dos parâmetros apresentados até o presente momento para o ALP02 os valores obtidos nas análises para ferro total se apresentaram bons.

Observa-se na figura 12e que o ferro possui uma tendência a melhorar com o passar dos anos, este fato fica evidente quando se analisa os limites superior e inferior, obtidos para os anos de 2010 e 2014, a média da concentração de ferro nas amostras em 2014 (42 mg.L^{-1}); enquanto que a média alcançada no ano de 2010 foi de 69 mg.L^{-1} .

Para o manganês total, pode-se observar que até o ano de 2013 os dados possuíam uma tendência a diminuir, com valores médios de $2,7 \text{ mg.L}^{-1}$ para 2011; $2,3$ para 2012 mg.L^{-1} e $1,9 \text{ mg.L}^{-1}$ para 2013, porém no ano de 2014, a média voltou a se elevar.

Figura 12 - Tratamento estatístico dos dados da qualidade da água subterrânea do poço ALP02, onde: a) pH; b) Condutividade; c) Acidez; d) Sulfatos; e) Ferro total; f) Manganês total;



Fonte: Da Autora, 2015.

Conforme o sentido do fluxo da água subterrânea em relação a área do pátio de carvão, o poço ALP02 sofreu influência direta do líquido percolado no depósito de carvão durante décadas.

Com exceção das concentrações de ferro e manganês, o que se pode verificar para o poço ALP02, foi o comportamento contrário à impermeabilização, quando se esperava que os resultados dos parâmetros analisados sofressem influência positiva no ano seguinte à obra.

Porém, sugerem-se algumas hipóteses para explicar o comportamento dos parâmetros pH, condutividade, acidez, sulfato nos anos que seguiram as obras de impermeabilização dos pátios de carvão das UTLs B/C.

Com a realização do processo de impermeabilização, o estoque de carvão depositado na área parou de contribuir para a contaminação da área, porém a contaminação do subsolo (que sofreu o aporte dos poluentes durante anos), pode levar décadas e até séculos para se reestabelecer uma condição próxima à original. A contaminação presente na área juntamente com a ação das chuvas, que no processo de infiltração carrega lentamente os contaminantes para o ponto amostral (APL02), pode explicar a elevação na concentração dos parâmetros sulfato e acidez, para o ano de 2011, quando o total de precipitação na região foi de 1829,4 mm.

4.3 Resultados para o poço ALP03

A tabela 8 apresenta os resultados da análise estatística para os dados de qualidade da água do poço ALP03 obtidas no período de 2010 a 2013. Vale ressaltar que a exemplo do APL02, o APL03 também se localiza à jusante da área do pátio de estocagem de carvão do CTJL.

Tabela 8 - Resultado da análise estatística para o ALP03.

Parâmetros		2010	2011	2012	2013	2014
pH	Média	6,1	6,0	6,3	6,1	6,2
	Min	5,9	5,3	6,1	5,6	5,7
	Max	6,4	6,3	6,4	6,3	6,6
	DP	0,1	0,2	0,1	0,2	0,3
	Lim inf	6,0	5,9	6,2	6,0	6,1
	Lim sup	6,2	6,1	6,4	6,3	6,3

Condutividade (mS.cm ⁻¹)	Média	2,3	2,9	2,6	2,7	1,6
	Min	1,1	2,1	1,2	1,6	0,7
	Max	3,0	3,7	3,4	4,0	3,6
	DP	0,7	0,4	0,6	0,5	0,6
	Lim inf	2,0	2,7	2,3	2,5	1,3
	Lim sup	2,7	3,0	3,4	2,9	1,8
Acidez (mg.L ⁻¹)	Média	467	346	395	422	392
	Min	271	136	134	206	120
	Max	756	573	517	657	720
	DP	112	114	86	115	142
	Lim inf	412	301	361	376	336
	Lim sup	522	392	514	468	449
Sulfatos (mg.L ⁻¹)	Média	1764	1848	2010	1636	1824
	Min	1122	1104	1358	1400	1000
	Max	2200	3050	3028	2300	5100
	DP	375	517	448	197	809
	Lim inf	1580	1641	1831	1557	1500
	Lim sup	1948	2054	2632	1715	2148
Ferro total (mg.L ⁻¹)	Média	116	110	121	130	108
	Min	11	24	15	60	23
	Max	178	319	390	264	171
	DP	50	71	74	52	51
	Lim inf	92	82	91	110	88
	Lim sup	141	139	223	151	129
Manganês total (mg.L ⁻¹)	Média	19,4	14,2	12,0	12,2	14,4
	Min	1,3	4,0	2,9	0,2	0,0
	Max	74,0	28,5	24,5	20,0	28,5
	DP	18,4	6,4	5,3	4,3	7,5
	Lim inf	10,4	11,6	9,8	10,5	11,4
	Lim sup	28,4	16,7	19,3	14,0	17,4

Fonte: Da Autora, 2015.

Conforme observado na figura 13a, o pH do poço ALP 03, se apresentou melhor comparado com os poços APL 01 e ALP 02, as médias obtidas para os anos de estudo estão dentro do valor mínimo exigido pela legislação (6,0 a 9,0), alcançando a média de 6,3 em 2012 e 6,2 em 2014. Os dados de condutividade para este poço, apesar de apontarem uma tendência a aumentar nos anos de 2011, 2012 e 2013, como observado na figura 13b, em 2014 os valores registrados foram significativamente menores do que nos anos anteriores, demonstrando uma menor atividade iônica neste último ano.

A acidez, para este poço, não apresentou melhora significativa no período de estudo, mas deixou em destaque o ano de 2011 quando ocorreu a impermeabilização (Figura 13c), os limites superior e inferior para este ano (392

mg.L⁻¹ e 301 mg.L⁻¹) , ficaram abaixo do limite inferior e superior (412 mg.L⁻¹ e 522 mg.L⁻¹) do ano anterior a impermeabilização (2010), porém os anos seguintes voltaram a apresentar valores elevados, demonstrando no contexto geral que não houve variação significativa entre os resultados.

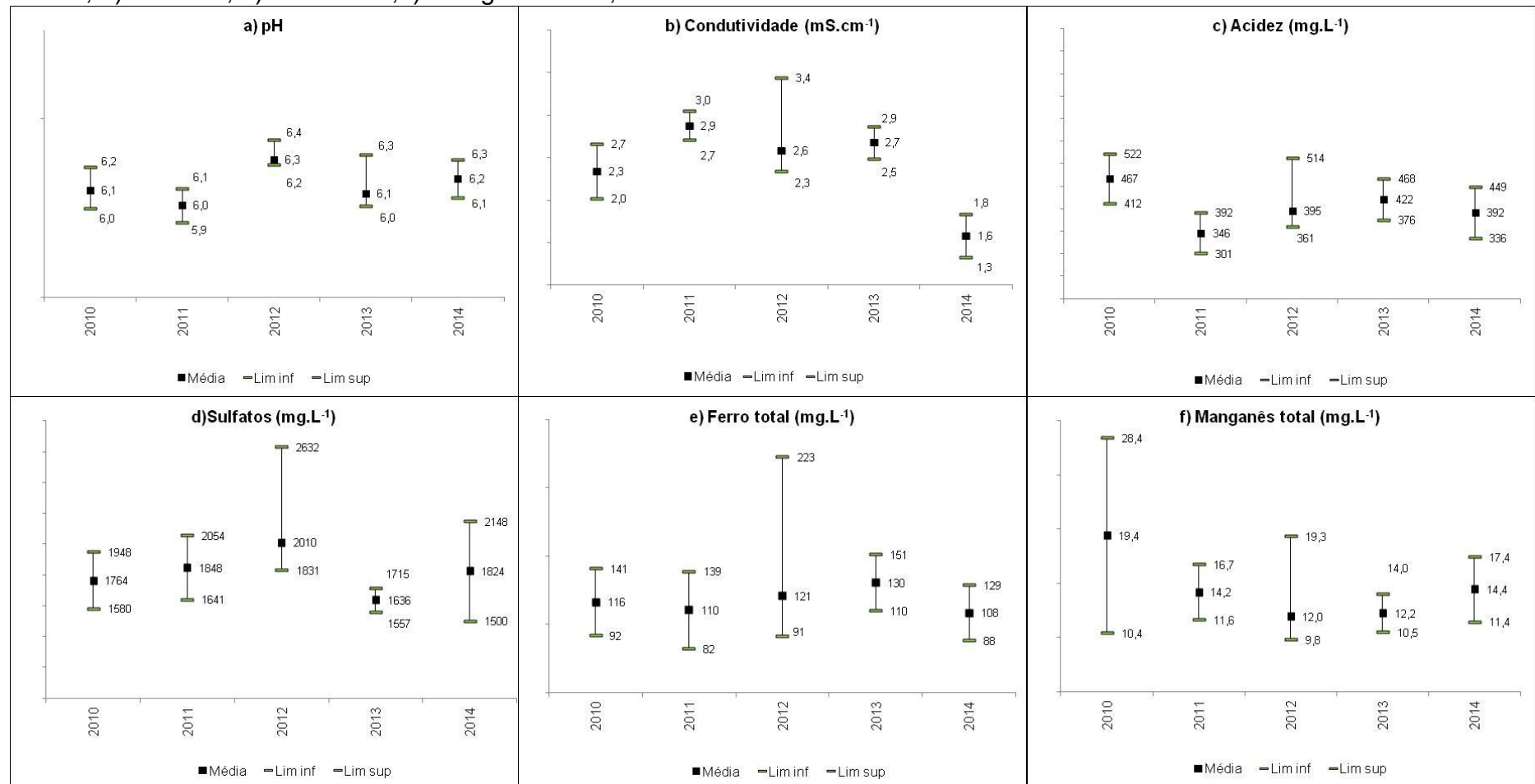
Os valores médios obtidos para Sulfato variaram de 1.636 mg.L⁻¹ ocorrido no ano de 2013 a 2.010 mg.L⁻¹ em 2012, não se observando melhoras significativas para este parâmetro (Figura 13d), que se encontrou com valores acima do máximo permitido para os usos preponderantes (Consumo Humano, Dessedentação de animais Irrigação e Recreação), segundo a resolução Conama 396/08.

Assim como os demais parâmetros apresentados para o poço em questão, os resultados para Ferro total e Manganês total, também não apresentaram variações significativas. As médias obtidas para o Ferro total variaram entre 108 mg.L⁻¹ a 130 mg.L⁻¹, sendo que o menor valor foi obtido em 2014 (Figura 13e). As análises de Manganês total para este poço apresentaram uma variação das médias entre 12,0 mg.L⁻¹ e 19,4 mg.L⁻¹, com o maior valor obtido no anterior a impermeabilização, e o menor no ano seguinte aos trabalhos, entretanto como pode-se observar nos anos de 2013 e 2014 estes valores voltaram a aumentar.

Assim como o APL02, este poço sofreu influência direta da água pluvial que lixiviou durante anos o depósito de carvão, transportando os poluentes para o subsolo através de infiltração. Desta forma, apesar da impermeabilização do pátio, os resultados referentes ao período anterior, ainda será sentido durante um tempo considerável. Observa-se quando se analisam os dados estatísticos, que o processo de reabilitação para este poço é mais lento. Contudo cabe ressaltar que a má qualidade da água subterrânea nesta região, também teve influência de todas as áreas no entorno que, como mencionado anteriormente, a maioria destas encontram-se recuperadas e duas delas ainda em fase de recuperação.

Entretanto ficam evidenciados dois parâmetros, o pH, que nos últimos 5 anos esteve sempre na faixa mínima exigida pela legislação, e os valores obtidos para condutividade que apresentou melhoras para o ano de 2014.

Figura 13 - Tratamento estatístico dos dados da qualidade da água subterrânea do poço ALP03, onde: a) pH; b) Condutividade; c) Acidez; d) Sulfatos; e) Ferro total; f) Manganês total;



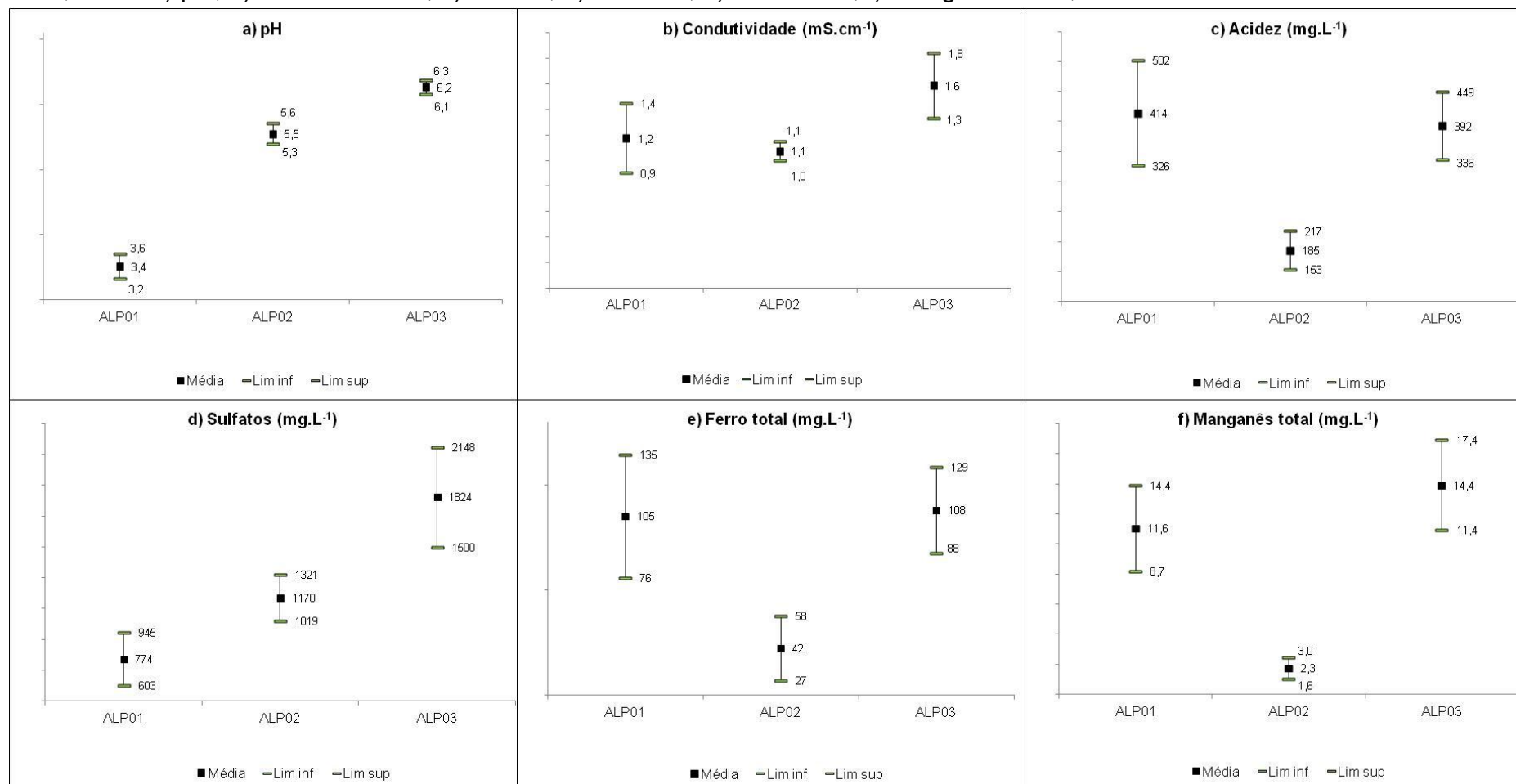
Fonte: Da Autora, 2015.

Na figura 14 encontram-se os resultados do tratamento estatístico dos dados de 2014 para cada parâmetro nos três poços. Comparando-os, observou-se que o ALP 01 no ano de 2014 foi o poço que mostrou melhores resultados para Sulfatos (744 mg.L^{-1}), e teve resultados semelhantes ao ALP02 e ALP03 para Condutividade, e dados próximos aos encontrados para ao ALP03 para Acidez Manganês e Ferro total, entretanto considerando os valores de pH, foi o poço com pior resultado em 2014 (3,4) enquanto para o ALP03 o valor obtido foi 6,2.

O poço ALP02 assim como o ALP03, comparados com o ALP01 apresentaram bons resultados quanto ao pH. Os melhores resultados dos parâmetros acidez, ferro e manganês total, também foram encontrados no ALP02.

Cabe ressaltar que com exceção do pH para o ALP03 que obteve o valor mínimo exigido pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, de qualidade de água para consumo humano, e sulfatos para o ALP01 que se enquadra nos limites para o uso preponderante, dessedentação de animais segundo a Conama 396/08, os demais resultados dos parâmetros, obtidos no ano de 2014 para os três poços encontram-se em desacordo com a legislação.

Figura 14 - Tratamento estatístico dos dados da qualidade da água subterrânea para os poços ALP01, ALP02 e ALP03 no ano de 2014, onde: a) pH; b) Condutividade; c) Acidez; d) Sulfatos; e) Ferro total; f) Manganês total;



Fonte: Da Autora, 2015.

5 CONCLUSÃO

Quando falamos em demanda por energia elétrica sabemos que em períodos com poucas chuvas as hidrelétricas necessitam do auxílio das usinas térmicas, sendo que estas têm de estar sempre procurando promover melhorias quanto a questão ambiental. Por este motivo, a empresa Tractebel Energia localizada no município de Capivari de Baixo, realizou diversas obras relacionadas à recuperação das áreas, além da redução e impermeabilização dos pátios de estocagem do carvão utilizado na geração de energia.

A área de estudo é conhecida pelos severos impactos ambientais da ação da drenagem ácida sobre a qualidade nas águas subterrâneas; e neste sentido se faz necessário o conhecimento das condições Hidrogeológicas e Geológicas da área de estudo.

Dessa maneira este estudo propôs avaliar a evolução da qualidade dos recursos hídricos subterrâneos em um dos pátios de estocagem de carvão do Complexo Termelétrico Jorge Lacerda, e sua relação com as obras de impermeabilização realizadas nos últimos anos. O período amostral considerou campanhas quinzenais de 2010 a 2014, analisando parâmetros físicos e químicos.

A análise estatística aplicada aos indicadores de qualidade considerados no programa de monitoramento da empresa, conclui que apesar dos resultados de qualidade da água dos poços apontarem que os mesmos não se apresentam com boa qualidade, a análise estatística permite identificar com 95% de certeza que o APL02 é significativamente melhor que o APL01 e o APL03, com exceção dos parâmetros de pH, condutividade e sulfatos.

De qualquer forma, confirmando-se os resultados das campanhas realizadas para o ano de 2014, pode se dizer que a qualidade da água nos três poços de monitoramento apresenta melhora nas características, quando se comparam os dados de 2014 com o conjunto de dados dos anos anteriores. Esta melhora é mais evidente no APL01 que não sofre influência da área do pátio de carvão.

A chuva que incide na área parece ter influência direta na água monitorada no subsolo, o que se deve provavelmente ao substrato arenoso da região. Este fato ficou evidente para o poço APL01, que ano de 2014 quando

ocorreu a maior contribuição de água de chuva entre os anos de estudo, percebeu-se a melhora na qualidade da água do poço que pode ter ocorrido devido a diluição dos poluentes advindos de outras fontes, principalmente do leito da estrada de ferro;

Neste sentido, ressalta-se que apesar da recente impermeabilização dos pátios de estocagem de carvão do CTJL, deve-se levar em consideração que o entorno da área de estudo, sofreu por muitos anos com os depósitos irregulares de carvão. Atualmente, a maior parte das áreas encontra-se recuperada com redução do incremento de poluentes para o subsolo, porém o processo de reestabelecimento destes ambientes é muito lento. De forma complementar, cabe mencionar que outras fontes prováveis de contaminação das águas subterrâneas podem estar associadas aos leitos das rodovias e da ferrovia que foram construídos sobre o rejeito de beneficiamento de carvão, servindo como sub-base para o asfalto.

Diante dos resultados obtidos foram propostas algumas oportunidades de melhoria em relação ao monitoramento das águas do lençol freático. Sugere-se que a empresa realize um estudo para delimitar a área de influência que está sendo avaliada na sua rede de monitoramento.

Posteriormente, deverá ser verificado se nesta área há a existência de algum poço perfurado pela empresa SGW, de forma a aproveitá-los no estudo hidrogeológico. É importante avaliar as condições do poço antes de reativá-lo.

Também se verificou que as análises físico-químicas são feitas em amostra não filtrada, o que pode estar interferindo nos dados de ferro e manganês, por este motivo assim como Cavalcanti (2009) recomenda, é indicado a que seja feita a filtragem da amostra, para que os dados não sejam mascarados.

Atualmente a empresa realiza o monitoramento do lençol freático dentro de um período quinzenal, os dados observados não sofrem variação significativa de uma amostragem para outra. Por este motivo sugere-se que a empresa altere a frequência de amostragem passando para o período trimestral, ou até semestral. Em contrapartida, o número de pontos amostrais poderá ser ampliado.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Panorama do enquadramento dos corpos d'água do Brasil. Panorama das qualidades das águas subterrâneas no Brasil.** Brasília, DF: ANA, 2007. 123 p. (Cadernos de Recursos Hídricos; 5)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.495-1: Poços de Monitoramento de Águas Subterrâneas em Aquíferos Granulares – Parte 1: Projeto e Construção.** Rio de Janeiro, 2007. 25 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma NBR 15.847 - Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento — Métodos de purga.** Rio de Janeiro, 2010. 15 p.
- BAIRD, Colin. **Química ambiental.** 2ª edição. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.
- BOAVENTURA, Edivaldo M. **Metodologia da pesquisa:** monografia, dissertação, tese. São Paulo: Atlas, 2004. 160 p.
- BORMA, Laura De Simone; SOARES, Paulo Sérgio Moreira. Drenagem Ácida e Gestão de Resíduos Sólidos de Mineração. In: TRINDADE, Roberto de Barros Emerny; BARBOSA FILHO, Olavo. **Extração de Ouro: Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2012. 312 p. Disponível em: <<http://mineralis.cetem.gov.br/bitstream/handle/cetem/1232/extracao-ouro%20cap.10.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 06 Junho 2015.
- BOTTURA, João Alberto. **Amostragem de água subterrânea em poços de monitoramento.** Associação de empresas solos e águas subterrâneas – AESAS, 2009. 49 p. Disponível em: <http://www.hidrosuprimentos.com.br/images/pdf_artigos_tecnicos/amostragem_agua_sub.pdf>. Acesso: 25 Março 2015.
- BRAGA, Benedito et al. **Introdução à engenharia ambiental.** São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305 p.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso: 13 Junho 2015.
- CAVALCANTI, José Eduardo W. A. **Manual de tratamento de efluentes industriais.** São Paulo: Engenho, 2009. 453 p.
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.** Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso: 8 Abril 2015.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.** Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562>>. Acesso: 8 Abril 2015.

CPRM – Serviço Geológico do Brasil. **Mapa Geológico do Estado de Santa Catarina.** Brasília, 2014. Mapa, color. Escala 1:500.000.

DIEHL, F.L. & HORN FILHO, N.O., 1996. **Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do Estado de Santa Catarina.** Notas Técnicas, 9, 39-50.

Disponível em:

<http://geobank.sa.cprm.gov.br/pls/publico/geobank.download.downloadlayouts?p_webmap=N>. Acesso: 30 Abril 2015.

FEITOSA, Fernando A. C.; MANOEL FILHO, João. **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações.** 2ª edição. Fortaleza: CPRM/REFO – Serviço Geológico do Brasil, LABHID - Laboratório de Hidrologia da UFPE, 2000. 391 p.

GIAMPÁ, Carlos Eduardo Quaglia; GONÇALVES, Valter Galdiano. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos.** São Paulo: Signus, 2006. 502 p.

GONÇALVES, Lucas, R. **Vulnerabilidade natural e avaliação de risco de contaminação dos sistemas de aquíferos nas áreas degradadas pela extração de carvão na bacia hidrográfica do rio Mãe Luzia.** 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

GOOGLE. **Programa Google Earth,** 2015.

HAMILTON, Duda. **Energia para o Brasil: 10 Anos de Tractebel Energia.** Florianópolis: Tractebel Energia, 2008. 360 p.

IPAT/UNESC. Instituto de Pesquisas Ambientais e Tecnológicas - Universidade do Extremo Sul Catarinense. **Projeto de Monitoramento da Qualidade das Águas da Bacia Carbonífera Catarinense.** Em convênio com DNPM, FATMA e SIECESC. Criciúma, 2003. 85p

JAPAN INTERNATIONAL COOPERATION AGENCY. SECRETARIA DO ESTADO E DESENVOLVIMENTP URBANO E MEIO AMBIENTE. **The feasibility study on recuperation of mined-out áreas in the South of Santa Catarina in the Federative Republic of Brazil.** Technical Annex, Section I, II, III, Sector Studies. Jan/1998, Japan. Mitsubish Materiais Corporation, Chioda-Dames & Moore Co. Ltd. (Relatório).

JUSTIÇA FEDERAL DE SANTA CATARINA. **Terceiro relatório de monitoramento dos indicadores ambientais ACP Nº 2000.72.04.002543-9/SC:** Plano de monitoramento dos indicadores ambientais. [2009]. Não paginado. Disponível em:<https://www.jfsc.jus.br/acpdocarvao/Rel_3_2009_ind_amb_plano_monit.htm#3>. Acesso: 4 Maio 2015.

KREBS, A. S. J.; et al. **Monitoramento das bocas de minas abandonadas com drenagens ácidas, na área correspondente à bacia Carbonífera de Santa Catarina.** In: XVI Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e XVII Encontro Nacional de Perfuradores de poços. São Paulo, 2010. 16 p. Disponível em: <<http://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22936>>. Acesso: 1 Junho 2015.

MACÊDO, Jorge Antonio Barros de. **Introdução a química ambiental:** química & meio ambiente & sociedade. Juiz de Fora, MG: Jorge Macêdo, 2002. 487 p.

MILIOLI, Geraldo; SANTOS, Robson dos; CITADINI-ZANETTE, Vanilde. **Mineração de carvão, meio ambiente e desenvolvimento sustentável no Sul de Santa Catarina:** uma abordagem interdisciplinar. Curitiba: Juruá, 2009. 315 p.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. Águas Subterrâneas e o Ciclo Hidrológico. Não paginado. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso: 1 Maio 2015.

OLIVEIRA, Ana Carolina de. **Análise de atributos físicos, químicos e microbiológicos de poços de monitoramento em área aplicada com vinhaça.** 2013. 64 f. Dissertação (Pós-Graduação em Recursos Naturais) - Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul. Disponível em: <http://www.uems.br/pgrn/arquivos/7_2014-01-31_13-38-23.pdf>. Acesso: 07 Junho 2015.

OLIVEIRA, Silvio Luiz de. **Tratado de metodologia científica:** projetos de pesquisas, TGI, TCC, monografias, dissertações e teses. São Paulo: Pioneira, 1999. 320 p.

REBOUÇAS, Aldo C.; BRAGA, Benedito; TUNDISI, José Galízia. **Águas doces no Brasil.** 3. ed. rev. e ampl São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p. ISBN 8586303410 (enc.).

ROSA, Roberto Vandrê. **Avaliação da qualidade da água do lençol freático no pátio de estocagem de carvão da ex-CAEEB Capivari de Baixo – SC.** 2012. 66 f. TCC (Graduação em Engenharia Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2012 Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/handle/1/1426>>. Acesso: 26 Fevereiro 2015.

SANTA CATARINA. **ÁGUA: recurso para a manutenção da vida.** Florianópolis: Governo do Estado de Santa Catarina, Secretária de Estado e Desenvolvimento Sustentável. 2006. 47 p.

SCHOBENHAUS, C.; GONÇALVES, J. H.; SANTOS, J. O. S. et al. **Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo: Sistema de Informações Geográficas - SIG e 46 folhas na escala 1:1.000.000.** Brasília: CPRM, 2004. 41 CD-ROM's.

SGW SERVICES ENGENHARIA AMBIENTAL LTDA. **Estudo Hidrogeológico e Monitoramento das Águas na Área de Influência do Complexo Jorge Lacerda.** PJ753/C1440. Outubro, 2013.

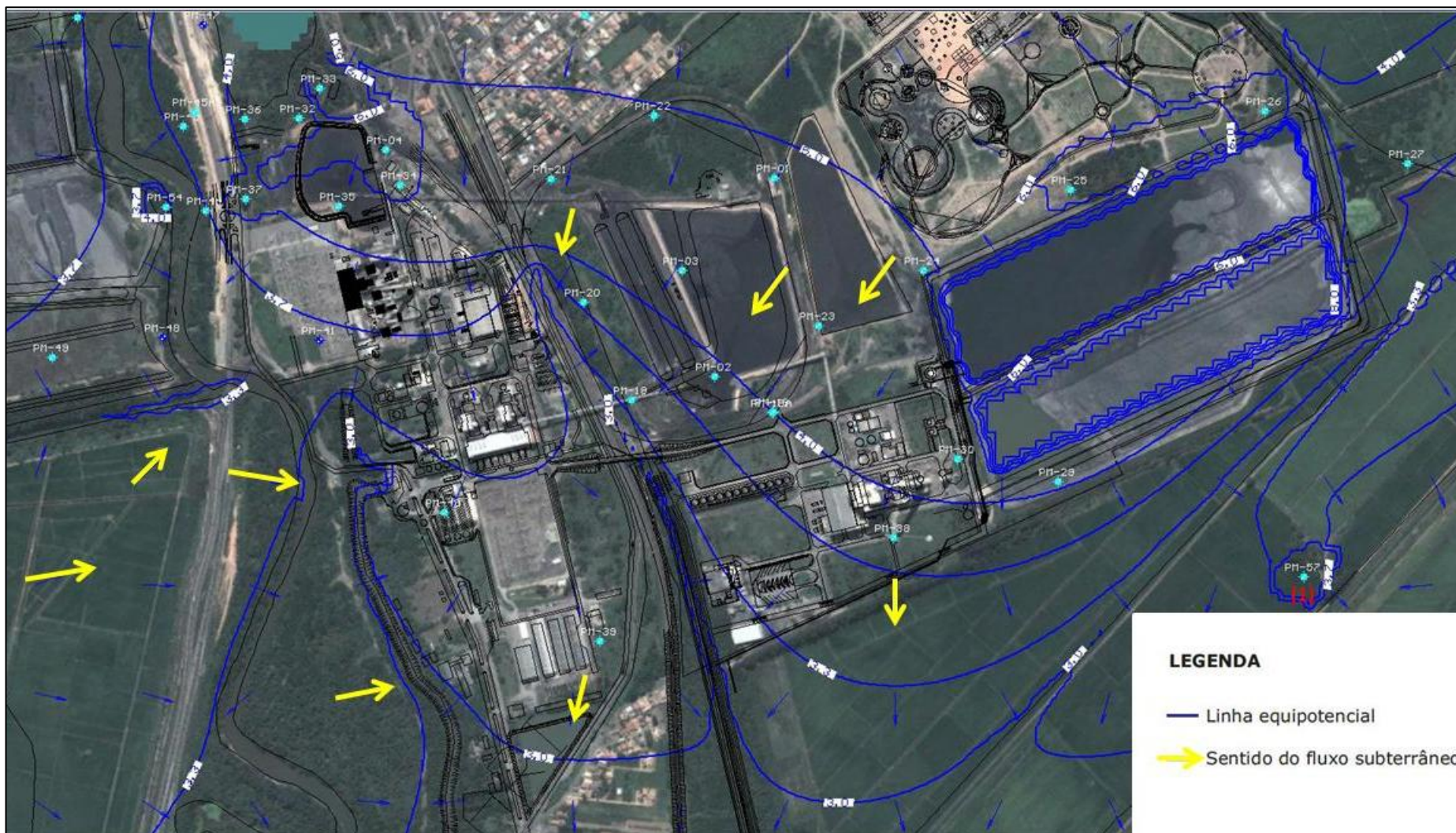
SOARES, Paulo Sérgio Moreira; SANTOS, Maria Dionísia Costa dos; POSSA, Mario Valente. . **Carvão brasileiro: tecnologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2008. 300p.

TELLES, Dirceu D'Alkmin; COSTA, Regina Helena Pacca Guimarães. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. São Paulo: Blucher, 2007. 311 p.

TRACTEBEL ENERGIA. **Recuperação de áreas degradadas por meio da utilização de cinzas de carvão mineral**. In: 17º Premio Expressão de Ecologia. Florianópolis, 2009. 13 p.

ANEXOS

ANEXO A – Mapa potenciométrico para CTJL



Fonte: Adaptado de SGW, 2013.

(1) Os poços PM descritos na figura fazem parte do modelo conceitual da área, elaborado no estudo hidrogeológico realizado pela empresa SGW - Services Engenharia Ambiental LTDA, para a Tractebel Energia.

ANEXO B – Resultados das análises físico químicas para o ALP01.

TRACTEBEL ENERGIA S.A
DIRETORIA DE PRDUÇÃO
Usina: CTJL

MONITORAMENTO

Local: ALP01 - ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO NA ÁREA DO PÁTIO DE CARVÃO

Data	pH	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	Acidez (mg.L ⁻¹)	Sulfatos (mg.L ⁻¹)	Ferro total (mg.L ⁻¹)	Manganês total (mg.L ⁻¹)
mai-10	3,7	2,870	1352	2216	460	20,0
mai-10	3,7	1,665	1444	1956	756	23,0
jun-10	3,4	3,140	1118	2052	736	23,5
jun-10	3,5	3,150	1520	1280	408	20,0
jul-10	3,4	2,730	1434	2284	360	9,0
jul-10	3,3	3,110	1092	2200	420	19,0
ago-10	3,3	1,422	1138	1200	300	9,6
ago-10	3,1	1,503	1112	1240	308	10,8
set-10	3,3	2,620	1168	1200	308	21,2
set-10	3,2	2,640	1150	1160	324	21,2
out-10	2,9	2,630	1004	1684	288	19,6
out-10	3,1	2,720	978	1736	306	22,8
nov-10	3,6	2,040	1135	1794	402	8,4
nov-10	3,5	2,360	1280	1800	324	19,6
dez-10	3,3	1,293	1327	1866	344	18,0
dez-10	3,1	2,990	1078	3920	378	19,2
jan-11	3,7	3,850	1290	1076	248	19,6
jan-11	3,2	2,850	1280	3982	424	22,0
fev-11	3,5	3,280	1393	1768	381	2,1
fev-11	3,5	3,080	1382	2113	228	7,3
mar-11	3,3	3,570	1387	1642	400	10,0
mar-11	3,2	2,180	1387	1842	660	28,0
abr-11	3,3	3,300	1331	1680	234	16,5
abr-11	3,5	2,760	1250	1462	582	13,0
mai-11	3,6	2,650	1192	2986	244	25,0
mai-11	3,3	2,520	1228	1732	385	13,0
jun-11	3,2	2,240	1185	2302	368	21,0
jun-11	3,5	2,450	1055	2752	358	12,0
jul-11	3,3	3,570	1164	1600	293	19,5
jul-11	3,0	3,760	1150	1364	290	13,5
ago-11	3,1	2,330	1065	2052	284	18,0
ago-11	3,3	1,797	818	2304	197	14,0
set-11	3,3	1,500	778	1140	324	10,0
set-11	3,0	2,350	568	986	111	11,5
out-11	2,9	2,290	555	1470	105	23,5
out-11	2,9	2,220	612	1322	107	36,5
nov-11	3,5	2,430	791	1528	68	13,0
nov-11	3,3	2,590	844	1582	37	10,0
dez-11	3,0	2,670	804	1712	246	14,5
dez-11	3,2	2,070	936	310	254	12,0
jan-12	3,3	1,094	956	2742	288	14,0
jan-12	3,5	1,547	1084	1850	228	18,0
fev-12	3,5	2,410	901	2450	258	9,0
fev-12	3,6	2,770	900	2500	252	10,5

mar-12	3,6	2,460	1141	2310	268	14,0
mar-12	3,4	2,990	1193	2424	314	9,5
abr-12	4,0	3,130	112	1978	260	13,0
abr-12	3,4	3,370	1369	1742	186	19,0
mai-12	3,4	3,230	1208	2208	290	14,5
mai-12	3,5	2,680	976	2426	234	15,0
jun-12	3,2	2,530	787	1840	158	12,0
jun-12	2,8	2,160	906	1772	160	16,5
jul-12	3,2	3,020	1122	1878	232	6,5
jul-12	3,2	1,263	1201	1586	280	7,5
ago-12	3,0	3,440	995	1466	388	18,0
ago-12	3,2	3,100	965	1467	266	10,5
set-12	3,7	1,539	1341	1633	362	10,0
set-12	3,5	3,430	978	1500	326	10,5
out-12	3,4	2,280	869	1767	492	24,0
out-12	3,2	3,440	939	1600	294	9,5
nov-12	3,4	2,330	943	1767	392	25,0
nov-12	3,1	3,240	893	1467	280	24,0
dez-12	3,3	3,450	911	1466	372	9,0
dez-12	3,1	3,530	878	1700	266	14,6
jan-13	3,2	3,540	1084	1633	322	16,0
jan-13	2,8	2,760	1581	1900	322	18,8
fev-13	3,2	3,180	1235	1700	316	17,0
fev-13	3,1	3,950	1421	2267	222	20,0
mar-13	3,1	3,410	1055	1767	198	20,0
mar-13	3,1	3,460	1171	1767	356	19,6
abr-13	3,9	2,100	1230	2100	560	18,6
abr-13	3,7	1,524	2665	1700	336	19,4
mai-13	3,7	2,690	1008	1650	278	16,8
mai-13	3,1	3,830	969	1650	220	16,0
jun-13	3,5	2,730	948	1650	260	19,2
jun-13	3,2	3,750	1001	2000	526	17,2
jul-13	3,1	3,890	1272	1950	226	18,2
jul-13	3,0	3,420	991	1600	250	9,6
ago-13	3,1	3,610	849	1450	246	20,0
ago-13	3,3	3,250	825	1500	146	11,2
set-13	3,3	2,930	640	1500	164	14,0
set-13	3,4	3,050	750	1250	382	15,6
out-13	3,4	2,840	687	1400	210	6,0
out-13	3,5	2,720	779	1250	226	4,8
nov-13	3,0	2,880	824	1700	246	4,8
nov-13	3,2	2,210	944	1400	432	17,2
dez-13	3,2	3,090	875	1500	154	17,2
dez-13	3,1	3,100	860	1600	166	16,2
jan-14	3,5	2,510	1101	1750	234	22,8
jan-14	3,1	2,777	837	1900	188	16,4
fev-14	3,1	2,500	644	1400	250	14,4
fev-14	3,1	2,500	629	1400	250	14,4
mar-14	3,7	1,519	591	1000	163	36,0
mar-14	3,5	1,230	515	833	161	15,0
abr-14	4,4	0,810	230	800	225	6,8
abr-14	3,3	1,112	508	700	101	12,4
mai-14	3,6	0,990	336	700	79	7,6
mai-14	2,8	1,181	411	767	58	11,8

jun-14	3,2	0,928	290	633	71	4,6
jun-14	3,0	1,201	295	733	60	12,4
jul-14	3,0	0,950	380	733	81	20,0
jul-14	2,9	1,022	285	500	28	6,0
ago-14	2,9	0,755	260	700	66	6,0
ago-14	3,3	0,614	245	660	27	6,0
set-14	3,8	0,794	240	410	64	4,0
set-14	4,0	0,707	262	450	35	12,0
out-14	4,0	0,594	286	470	56	10,2
out-14	2,4	0,720	299	410	50	10,6
nov-14	4,2	0,487	231	360	73	10,0
nov-14	3,7	0,666	181	390	71	6,0
dez-14	3,7	0,561	417	380	70	5,0
dez-14	3,7	1,026	464	500	70	7,0

ANEXO C – Resultados das análises físico-químicas para o ALP02.

TRACTEBEL ENERGIA S.A
DIRETORIA DE PRODUÇÃO
Usina: CTJL

MONITORAMENTO

Local: ALP02 - ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO NA ÁREA DO PÁTIO DE CARVÃO

Data	pH	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	Acidez (mg.L ⁻¹)	Sulfatos (mg.L ⁻¹)	Ferro total (mg.L ⁻¹)	Manganês total (mg.L ⁻¹)
mai-10	5,9	1,853	1384,0	1764	56,00	10,2
mai-10	5,8	1,247	395,8	1136	76,00	1,7
jun-10	5,6	1,463	292,4	1352	58,00	8,2
jun-10	5,8	1,627	224,8	2124	43,60	10,4
jul-10	5,9	1,470	308,2	1080	36,80	2,8
jul-10	5,9	1,526	208,2	1280	160,00	2,3
ago-10	5,9	0,931	297,8	760	160,00	1,8
ago-10	6,0	1,001	301,4	840	11,60	0,2
set-10	5,5	1,502	225,2	910	120,00	2,6
set-10	5,6	1,505	236,0	950	152,00	3,0
out-10	5,3	1,259	222,4	1128	204,00	4,6
out-10	4,8	1,490	144,8	1746	80,00	2,6
nov-10	5,6	0,902	255,6	1222	98,00	8,4
nov-10	5,6	1,440	214,4	1120	326,00	2,4
dez-10	5,6	1,329	119,4	1278	76,00	1,8
dez-10	5,4	2,460	147,8	1344	66,00	4,4
jan-11	5,8	1,437	219,4	1242	96,00	2,8
jan-11	6,0	1,462	274,2	1312	120,00	5,4
fev-11	5,5	1,530	196,0	1376	342,00	0,2
fev-11	5,5	1,485	285,0	1246	134,00	2,9
mar-11	5,5	1,382	253,0	1067	116,00	1,6
mar-11	5,6	1,340	298,2	63	116,00	2,8
abr-11	5,4	1,544	200,0	205	66,00	1,8
abr-11	5,8	1,321	223,0	531	76,00	3,4
mai-11	5,3	1,499	197,6	1577	126,00	2,4
mai-11	5,6	1,622	246,0	1274	73,00	3,4
jun-11	4,9	2,490	152,0	2466	55,00	2,2
jun-11	5,2	1,408	136,0	2118	34,00	6,4
jul-11	5,7	1,596	279,6	1274	56,00	3,0
jul-11	4,9	2,390	143,6	1370	57,00	3,2
ago-11	4,9	1,156	155,6	1776	55,00	3,2
ago-11	5,9	2,690	158,0	1168	54,00	2,6
set-11	5,5	1,624	196,0	1160	199,00	1,2
set-11	5,4	2,380	109,0	958	43,00	0,4
out-11	4,8	2,118	104,2	1290	31,00	2,4
out-11	5,6	1,333	195,0	1496	34,00	3,2
nov-11	5,4	1,480	246,6	1757	63,00	1,8
nov-11	5,8	2,280	206,6	1228	83,00	3,2
dez-11	6,0	2,250	93,8	883	73,00	0,6
dez-11	5,6	1,501	211,2	1549	78,00	3,6
jan-12	5,1	1,275	302,6	1217	80,00	6,0
jan-12	6,0	1,257	289,8	1433	56,00	5,0
fev-12	6,0	1,571	254,4	1965	40,00	2,5
fev-12	6,2	1,115	274,0	950	59,00	1,0

mar-12	6,1	1,336	287,2	1607	83,00	2,5
mar-12	6,1	2,070	290,8	1791	75,00	1,8
abr-12	6,0	1,404	387,6	1209	88,00	2,2
mai-12	6,3	1,357	392,6	1581	58,00	2,1
mai-12	6,2	1,432	320,6	1559	46,00	2,3
jun-12	6,0	1,143	276,8	1366	71,00	1,6
jun-12	5,7	1,488	208,8	1512	41,00	1,6
jul-12	6,0	1,159	354,4	1319	65,00	2,3
ago-12	5,7	2,460	189,4	1126	61,50	3,1
ago-12	5,9	1,612	333,6	1233	66,00	1,5
set-12	5,9	1,541	357,0	1133	82,00	1,0
set-12	6,1	1,604	400,0	1133	28,00	1,6
out-12	5,8	1,450	358,6	1433	96,50	2,2
out-12	6,0	1,458	298,8	1167	80,50	1,2
nov-12	6,1	1,040	271,0	1600	78,50	2,5
nov-12	5,9	2,530	112,2	1400	67,00	2,2
dez-12	5,8	2,600	240,0	1367	53,50	2,4
dez-12	5,7	2,540	143,2	1800	26,50	1,3
jan-13	5,7	2,350	294,2	1100	74,50	2,3
jan-13	6,1	2,170	485,0	1133	79,50	2,4
fev-13	6,0	2,300	134,0	1300	56,50	3,2
fev-13	5,6	2,270	239,2	1433	61,00	2,1
mar-13	5,6	2,300	234,8	1200	45,00	2,6
mar-13	5,8	1,342	281,0	1267	72,00	5,0
abr-13	3,9	1,518	273,8	1500	52,50	4,4
abr-13	5,1	1,501	276,4	1200	51,00	2,7
mai-13	5,8	1,157	233,2	1300	43,00	0,8
mai-13	5,3	1,345	272,2	1100	64,00	0,9
jun-13	5,9	1,377	335,2	1100	64,50	1,9
jun-13	5,9	2,540	295,8	1550	134,50	2,1
jul-13	5,3	1,481	302,0	1500	17,00	0,3
jul-13	5,2	2,470	207,4	1150	105,00	1,0
ago-13	3,6	2,660	222,6	1100	19,50	3,9
ago-13	5,8	2,330	330,0	1200	93,50	0,6
set-13	5,8	2,230	294,0	1200	52,50	2,6
set-13	5,9	2,210	332,0	1100	84,00	1,6
out-13	5,7	1,213	244,8	1150	59,00	1,1
out-13	5,8	1,570	190,8	1250	58,00	1,2
nov-13	5,3	1,954	178,0	1250	48,50	1,2
nov-13	5,3	1,957	212,8	950	162,50	0,2
dez-13	5,4	1,475	168,0	1100	25,00	1,1
dez-13	5,5	1,450	160,0	1250	24,00	1,2
jan-14	5,2	1,045	132,4	1400	43,00	1,4
jan-14	5,2	1,313	107,6	1850	36,00	0,9
fev-14	5,7	1,355	146,8	1100	66,00	1,8
fev-14	5,9	1,260	258,0	1250	80,00	2,1
mar-14	5,4	1,233	138,4	1150	152,50	1,6
mar-14	5,3	0,909	143,0	967	140,50	3,6
abr-14	5,3	1,202	235,2	1000	86,00	0,8
abr-14	5,1	1,204	246,4	1080	53,00	4,2
mai-14	4,8	0,879	152,4	1140	31,00	1,6
mai-14	5,0	1,140	228,8	1020	18,50	2,2
jun-14	5,5	1,069	126,0	980	19,00	0,6
jun-14	5,2	1,151	10,0	1000	17,50	2,0

jul-14	5,3	0,970	248,0	1340	20,80	0,0
jul-14	5,3	1,226	140,0	1380	26,80	2,0
ago-14	4,5	1,260	138,0	1800	18,40	2,0
ago-14	5,5	0,797	120,0	1640	19,60	2,0
set-14	5,5	1,022	132,0	1040	21,40	3,4
set-14	5,5	0,994	137,2	1880	12,60	7,5
out-14	5,9	0,751	248,0	96	35,20	2,3
out-14	5,8	1,029	258,0	1120	14,20	3,8
nov-14	6,2	0,968	282,0	1120	15,00	1,2
nov-14	6,0	0,831	262,0	940	12,80	6,0
dez-14	5,7	0,765	391,0	960	50,40	1,5
dez-14	6,0	1,380	163,0	820	25,50	0,0

ANEXO D – Resultados das análises físico químicas para o ALP03.

TRACTEBEL ENERGIA S.A
DIRETORIA DE PRODUÇÃO
Usina: CTJL

MONITORAMENTO

Local: ALP03 - ÁGUA DO LENÇOL FREÁTICO NA ÁREA DO PÁTIO DE CARVÃO

Data	pH	Condutividade (mS.cm ⁻¹)	Acidez (mg.L ⁻¹)	Sulfatos (mg.L ⁻¹)	Ferro total (mg.L ⁻¹)	Manganês total (mg.L ⁻¹)
mai-10	6,3	2,840	548,0	2144	142,00	42,0
mai-10	6,3	2,660	756,0	1832	178,00	34,0
jun-10	6,0	3,010	512,5	2008	139,00	74,0
jun-10	6,2	2,890	499,0	2120	139,00	14,0
jul-10	6,2	2,510	579,0	2068	142,00	2,0
jul-10	6,2	2,850	420,5	2200	150,00	13,4
ago-10	6,3	1,078	457,5	1216	134,00	2,2
ago-10	6,4	1,100	461,5	1248	141,00	19,6
set-10	6,1	2,540	399,0	1122	133,00	20,0
set-10	6,0	2,610	415,0	1130	135,00	20,0
out-10	5,9	1,149	271,0	1872	140,00	15,2
out-10	6,2	2,210	382,5	1684	137,00	19,6
nov-10	6,2	2,120	547,5	1808	47,00	1,6
nov-10	6,1	2,520	442,0	1820	10,50	14,8
dez-10	6,2	2,490	323,5	1962	15,60	1,3
dez-10	6,1	2,920	458,0	1992	75,00	16,8
jan-11	6,1	2,510	438,5	1980	41,00	16,8
jan-11	6,3	2,066	485,0	1966	158,00	5,2
fev-11	6,1	3,580	409,5	3050	185,00	17,6
fev-11	6,0	3,280	562,5	2020	319,00	23,2
mar-11	6,0	3,370	377,5	1510	131,00	19,5
mar-11	6,1	2,570	232,6	1654	124,00	10,0
abr-11	6,1	2,880	573,2	1700	112,00	15,5
abr-11	6,2	3,260	437,0	1660	270,00	28,5
mai-11	6,1	2,690	422,0	2704	100,00	13,0
mai-11	5,9	2,550	341,6	1414	71,00	6,0
jun-11	5,7	2,270	310,4	2838	85,00	7,0
jun-11	5,5	2,560	178,0	2660	62,00	26,0
jul-11	6,1	3,120	407,6	1518	98,00	18,0
jul-11	6,1	3,590	326,0	1534	60,00	13,8
ago-11	6,0	2,790	309,6	1104	116,00	17,5
ago-11	6,3	3,710	437,6	1566	123,00	18,5
set-11	6,1	2,690	286,4	1636	178,00	16,0
set-11	5,8	3,050	194,0	1896	51,00	9,0
out-11	5,3	2,700	135,6	2328	67,00	13,0
out-11	6,0	2,450	274,8	1926	24,40	11,6
nov-11	6,0	2,850	370,8	1450	85,60	12,0
nov-11	6,2	2,960	278,8	1446	70,80	10,8
dez-11	6,3	2,850	238,8	1324	50,80	4,0
dez-11	6,1	2,750	285,2	1456	65,20	8,0
jan-12	6,4	2,580	294,8	3028	122,80	14,4
jan-12	6,4	2,090	345,2	2566	73,60	24,5
fev-12	6,2	1,557	510,8	2516	126,80	15,0
fev-12	6,3	2,820	484,8	2446	141,20	15,5

mar-12	6,2	2,430	400,8	2494	119,60	17,5
mar-12	6,3	2,700	412,0	2668	78,80	18,0
abr-12	6,3	3,010	134,4	2202	46,40	7,5
abr-12	6,3	2,820	451,2	1358	57,60	13,0
mai-12	6,4	2,520	405,2	2368	40,50	11,0
mai-12	6,4	2,910	405,2	2298	198,00	20,0
jun-12	6,3	1,407	369,6	1924	43,50	11,0
jun-12	6,1	2,980	379,2	1756	15,40	8,0
jul-12	6,3	2,770	394,0	2128	110,00	2,9
jul-12	6,3	2,860	517,2	1706	140,00	7,0
ago-12	6,2	3,020	368,4	1656	190,00	16,0
ago-12	6,3	1,380	448,0	1567	105,00	8,5
set-12	6,2	1,185	511,2	1567	147,00	15,0
set-12	6,3	3,360	465,6	1533	134,00	11,5
out-12	6,2	2,610	478,4	1833	390,00	11,0
out-12	6,2	3,200	346,0	1600	146,00	3,0
nov-12	6,3	2,760	368,8	2000	145,00	12,0
nov-12	6,3	3,020	293,2	1700	117,00	9,5
dez-12	6,2	2,950	345,2	1533	117,00	4,0
dez-12	6,2	3,220	351,6	1800	91,00	11,0
jan-13	6,2	3,100	423,2	1500	121,00	13,8
jan-13	6,0	2,999	481,6	1533	129,00	10,4
fev-13	6,2	2,390	257,2	1600	114,00	4,6
fev-13	6,1	3,010	412,8	2300	60,00	14,4
mar-13	6,1	2,620	270,4	1633	115,00	14,4
mar-13	6,2	2,770	394,4	1600	100,00	8,0
abr-13	6,2	2,310	413,6	1750	96,00	0,2
abr-13	6,1	2,390	657,2	1700	122,00	17,0
mai-13	6,1	2,310	436,0	1650	106,00	11,2
mai-13	6,3	1,601	434,4	1550	121,00	11,4
jun-13	6,1	2,230	470,0	1650	76,00	13,0
jun-13	6,2	3,990	614,8	2050	254,00	8,0
jul-13	5,9	3,370	492,0	1700	94,00	18,8
jul-13	5,8	2,800	220,8	1650	196,00	14,4
ago-13	5,6	3,000	298,8	1400	82,00	20,0
ago-13	6,3	2,570	206,0	1450	264,00	16,0
set-13	6,3	2,400	468,0	1500	110,00	9,4
set-13	6,3	3,000	456,0	1400	211,00	14,4
out-13	6,2	2,790	606,0	1700	156,00	14,0
out-13	6,1	2,700	380,0	1650	125,00	13,4
nov-13	5,9	2,600	491,2	1700	137,00	13,4
nov-13	6,0	2,060	443,6	1450	126,00	13,6
dez-13	5,9	2,680	400,0	1600	106,00	10,2
dez-13	5,9	2,650	392,0	1550	110,00	9,6
jan-14	6,1	2,111	288,4	1650	159,00	10,8
jan-14	5,9	2,240	240,0	1150	30,00	8,0
fev-14	6,2	2,420	359,2	1200	129,00	12,2
fev-14	6,2	2,240	425,6	1750	55,00	16,6
mar-14	6,3	2,190	398,0	1650	23,00	22,5
mar-14	6,0	1,299	406,0	1467	113,00	28,5
abr-14	6,0	2,080	441,2	1033	163,50	4,0
abr-14	5,9	1,396	508,8	1633	145,00	23,5
mai-14	6,0	1,385	351,2	1567	76,50	21,0
mai-14	5,8	1,554	445,6	1533	89,00	18,5

jun-14	6,1	1,341	278,0	1633	79,00	4,0
jun-14	5,7	1,548	284,4	1500	90,00	19,0
jul-14	5,7	0,951	120,0	2133	80,00	15,0
jul-14	6,1	1,514	224,0	2267	44,50	10,0
ago-14	6,0	1,377	298,0	2880	31,50	20,0
ago-14	6,4	0,957	160,0	2100	47,00	15,0
set-14	6,4	1,253	432,0	1450	128,00	18,0
set-14	6,6	0,704	462,0	5100	151,50	18,0
out-14	6,5	0,976	512,4	1800	164,00	8,6
out-14	6,4	1,386	534,4	2000	146,00	10,1
nov-14	6,6	1,110	410,8	1000	152,50	19,0
nov-14	6,3	1,336	480,4	1750	171,00	22,0
dez-14	6,4	1,092	720,0	1800	163,00	2,0
dez-14	6,4	3,600	637,6	1733	168,50	0,0
